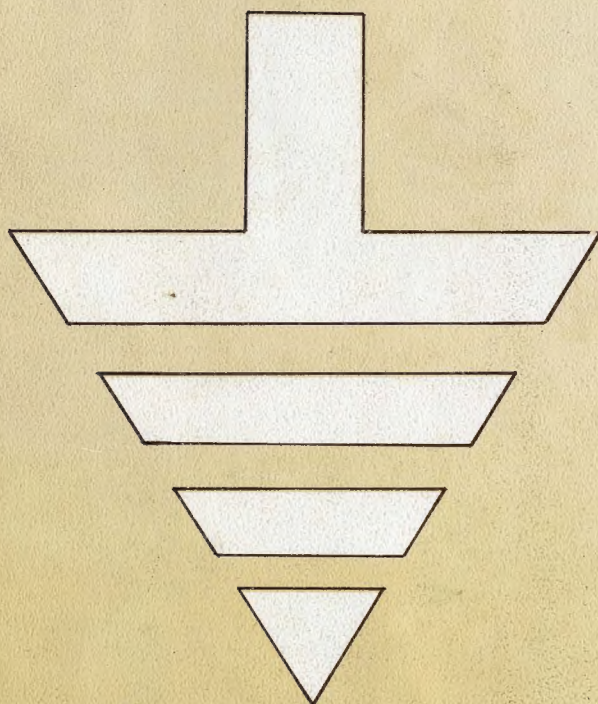


أسس مكتب توزيع القوى الكهربائية

التأريض الوقائي



دكتور
أسد علي زكي
أستاذ هندسة القوى الكهربائية

دكتور
أحمد علي راشد
أستاذ هندسة القوى الكهربائية المساعد

كلية الهندسة
جامعة الإسكندرية

الناشر / مكتبة
جلال حمزى وشركاه
الإسكندرية

دکتر سلطان یوزون القوی الکهریبة

التأريخ للوقای

دکتر
احمد حلمی راشد
استاذ هندسة القوى الکهریبة المساعد

دکتر
أسیر علی زکی
استاذ هندسة القوى الکهریبة

کلیة الهندسة

جامعة الاسکندرية

الناشر / منشأف بالاسکندرية

جلال حزی وشركاه

الطبعة الاولى ١٩٨٣

الفنية للطباعة والنشر - ٤٨ ش جودة راس التين - الاسكندرية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمة

هذا الكتيب هو الأول من خمسة كتيبات فى موضوع اسس شبكات توزيع القوى الكهربائية • وقد اخترنا أن يكون موضوعه هو التأريض الوقائى فى شبكات التوزيع حيث اننا شعرنا بنقص واضح فى هذا الموضوع سواء فى كتب شبكات القوى الكهربائية أو فى التطبيق العملى للتأريض الوقائى بالنسبة لشبكات توزيع الجهد المنخفض فى مصر والدول النامية عامة • ونظرا لأن التقدم الحضارى والارتفاع فى مستوى المعيشة يصحبه زيادة كبيرة ومستمرة فى استخدامات الاجهزة والمعدات الكهربائية سواء فى المنازل أو فى الورش والمصانع الصغيرة ، فان ذلك يدعو الى إعادة النظر فى نظم التأريض الوقائى (ان وجدت) فى هذه البلاد حرصا على سلامة المستهلك •

ورغم أن موضوع التأريض ليس سهلا الا اننا قد حاولنا أن نقدم للقارىء العربى المبادئ الاساسية التى تمكنه من فهمه واستيعابه وتقدير أهميته وتأوله لمتابعة مختلف المواصفات القياسية العالمية والمراجع الخاصة بالتأريض ، ومن ثم المناشدة والاقدام على تطبيق التأريض الوقائى فى مختلف شبكات التوزيع •

وسوف يتلو هذا الكتيب الكتيبات الاربع الاخرى والتى ستتناول الموضوعات الآتية :

الكتيب الثانى : نظم التوزيع وتنظيم الجهد .

الكتيب الثالث : حساب الاخطاء ونظم الوقاية .

الكتيب الرابع : الكابلات ومحولات التوزيع .

الكتيب الخامس : الاضاءة .

واننا نرجو أن نكون بهذه السلسلة قد غطينا أهم الموضوعات المتعلقة بشبكات التوزيع سواء من الناحية الاكاديمية أو من الناحية العملية .

ولقد كان من الممكن ، وربما من الاسهل ، أن يتم تأليف تلك الكتيبات باللغة الانجليزية . إلا ان رغبة منا فى اثراء المكتبة العلمية العربية ، فقد رأينا أن يكون التأليف باللغة العربية بالرغم مما قد يلاقيه المؤلف من بعض الصعوبات فى ترجمة بعض الاصطلاحات العلمية الخاصة . ونأمل أن نكون قد وفقنا فى هدفنا هذا وفى الاضافة الى رصيد المكتبة العلمية العربية .

ونود فى النهاية أن نقدم الشكر لمنشأة المعارف التى قامت بنشر هذا الكتاب والمطبعة الفنية بالاسكندرية والعاملين بها لما قاموا به من مجهود لإخراجه على هذه الصورة .

والله ولى التوفيق

الاسكندرية فى يونيو ١٩٨٣

د . آسر على زكى

د . احمد حلمى راشد

محتويات الكتاب

الفصل الاول

تأثير التيار على الانسان

- 1 - 1 مقدمة ... 1
1 - 2 حجم التيارات الخطرة على حياة الانسان ... 2
1 - 3 تأثير زمن دوام التيار على خطورته ... 4
1 - 4 المقاومة الكهربائية لجسم الانسان ... 6

الفصل الثانى

المقاومة الارضية

- 2 - 1 المقاومة الارضية للكتروود نصف كروى ... 7
2 - 2 طريقة قياس مقاومة الكتروود التاريض ... 9
2 - 3 مقاومة التربة ... 14
2 - 4 قياس مقاومة التربة ... 17

الفصل الثالث

الكتروودات التاريض

- 3 - 1 التاريض باستخدام الكتروود واحد على شكل قضيب ... 21
3 - 2 التاريض باستخدام قضبان متعددة ... 23

(ح)

- 29 3 - 3 التأريض باستخدام أسلاك مدفونة أفقياً ...
- 34 4 - 3 الألواح المدفونة كالكثرويدات تأريض ...
- 34 5 - 3 استخدام مواسير الماء أو الغاز أو حديد التسليح كالكثرويدات التأريض
- 35 6 - 3 مساحة المقاومة ...

الفصل الرابع

جهد الخطوة وجهد اللمس

- 37 1 - 4 جهد الخطوة
- 38 2 - 4 جهد اللمس

الفصل الخامس

نظام التأريض

- 41 1 - 5 قيمة المقاومة للأرض
- 41 2 - 5 مكونات نظام التأريض ...
- 47 3 - 5 الوصل في نظام التأريض ...
- 48 4 - 5 عدد قضبان التأريض ومقاس توصيلات التأريض
- 51 5 - 5 التحات أو التآكل الكيميائي ...
- 53 6 - 5 القواعد العامة لنظم التأريض عند محطات التحويل الفرعية ...
- 57 7 - 5 الاجراءات الوقائية بالنسبة للمستهلك ...
- 67 المراجع ...

الفصل الأول

تأثير التيار على الانسان

1.1 مقدمة

تنقسم التوصيلات الارضية الى نوعين رئيسيين :

1 - تأريض المنظومة •

2 - تأريض المعدات أو التأريض الوقائي •

يعتمد النوع الاول من التأريض أساسا على متطلبات تشغيل الشبكة بحيث يكون أدائها على أمثل وجه • وتعتمد هذه المتطلبات على عدة عوامل مثل شدة الاجهاد الكهربى المسموح به للعزل وشدة تيار القصر عند حدوث خطأ أرضى والخواص الوقائية الكلية للمنظومة •

أما النوع الثانى من التأريض ، وهو موضوع هذا الجزء ، فالغرض الاساسى منه هو حماية الافراد (عمال التشغيل والاصلاح أو الفنيين أو الجمهور العام) من الاصابة بصدمة كهربية نتيجة لمس أى جزء معدنى من المفروض الا يكون حيا ولا حاملا لاي تيار كهربى • ويتم ذلك عن طريق التأريض المتعمد لجميع الانشآت المعدنية ، وهياكل المولدات والمتورات ، والصناديق المعدنية لمعدات التحكم ، ودرع الكابلات ، وصناديق التوصيل، ومجرى الكابلات وجميع الاجسام المعدنية التى تحتوى أو تجاور دائرة كهربائية ويمكن لاي فرد أن يلمسها •

فى حالة حدوث تلامس غير مقصود أو قصر بين موصل الدائرة الكهربائية والجسم المعدنى، يرتفع جهد الجسم الى جهد الموصل ، فإذا لم يكن هذا الجسم مؤرضاً عمداً ، فهو منعزل كهربياً عن الارض • وفى هذه الحالة يمكن اعتباره

موصلا بالارض عن طريق مقاومة قدرها مئات أو آلاف الاومات بدلا من بضع اومات اذا كان مؤرضا عمدا ، أو ملايين الاومات اذا كان معزولا عمدا . ونتيجة لذلك ، وبالإضافة الى ارتفاع جهد الجسم الى قيمة قد تشكل خطرا على حياة الانسان ، يمر تيار تسرب الى الارض قد يؤدي ، رغم صغره ، الى نشوب حريق ؛ والسبب فى ذلك أن دوام التيار يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة أى مواد يحملها هذا التيار وقد تكون سريعة الانتهاب .

والتاريخ المتعمد للجسام المعدنية ، وهو التاريخ الوقائى ، له غرضان :

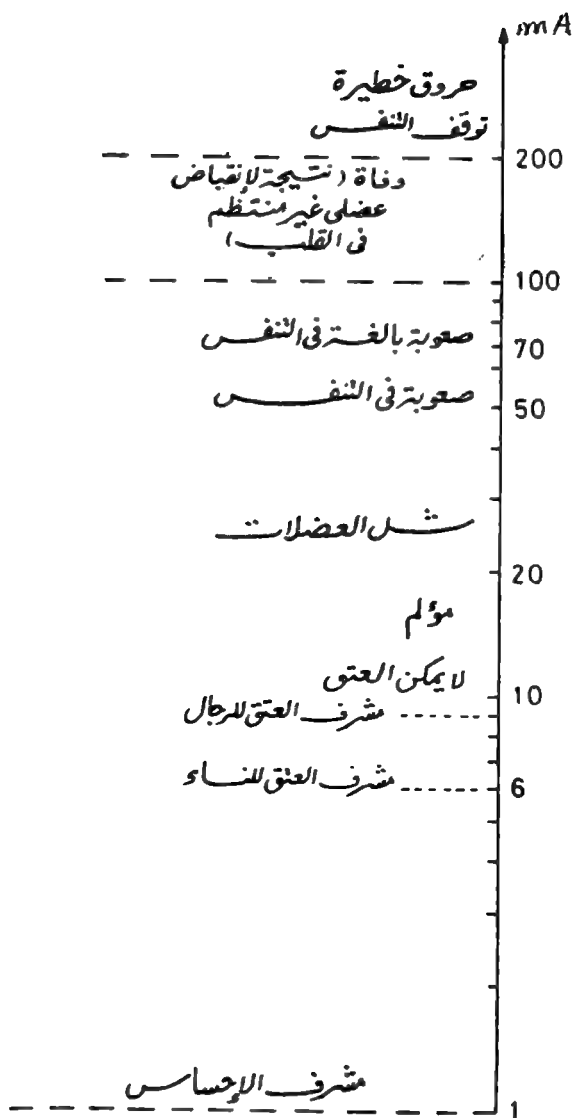
- 1 - منع جهد الجسم من الارتفاع الى قيمة قد تشكل خطرا على الانسان .
- 2 - السماح بمرور تيار للارض له قيمة كافية لتشغيل الاجهزة الوقائية (مصهرات أو قواطع) أو الاجهزة الخاصة بكشف أى خطأ للارض .

ولانجاز هذه الاغراض يشترط الا تتعدى قيمة المقاومة للارض عند نقطة التاريض قدرا معيناً تحدده عادة المواصفات القياسية ويتراوح بين 1 و 25 اوم على حسب شدة تيار القصر .

2.1 حجم التيارات الخطرة على حياة الانسان

من المعروف ان الصدمة الكهربائية يمكن أن تصيب الانسان أو الحيوان باصابات بالغة أو تؤدي الى الموت (الصق الكهربى) . وتتوقف درجة الإصابة على ظروف عديدة عند وقوع الحادث وأهمها هو حجم التيار الذى يمر فى جسم الانسان ومسار هذا التيار عبر الجسم والحالة البدنية للشخص المصاب .

لقد أظهرت التجارب والملاحظات أن تأثير التيار الكهربى ذو التردد المنخفض (50 - 100 هرتز) على جسم الانسان يختلف باختلاف حجم هذا التيار المار فى منطقة الصدر . ويبين الشكل 1-1 هذه التأثيرات اذا كان زمن دوام التيار بضعة ثوانى أو أكثر .



شكل 1-1. تأثير حجم تيار الصدمة الكهربائية بالمللى أمبير على جسم الانسان لفترة دوام التيار بضعة ثوانى

والحد الأدنى للاحساس بالتيار هو حوالى واحد ميللى أمبير • ويصبح هذا الاحساس مؤلماً اذا زاد التيار عن 10 ميللى أمبير • وبين 10 و 20 م• أيفقد الانسان قدرة التحكم فى عضلاته بحيث انه اذا أمسك بيده الجسم المكهرب لا يستطيع اعتاقه • ومع ازدياد حجم التيار يصبح التنفس صعباً وتصاب

العضلات بشلل • وهذه التأثيرات ليست دائمة وإنما تختفى إذا تم فصل التيار خلال بضعة ثوانى أو أقل (عن طريق المرحلات وأجهزة الوثاينة سريعة العمل) • وحتى فى حالة التوقف التام للتنفس ، يمكن انقاذ المصاب من الاختناق باستخدام التنفس الصناعى • أما إذا كان حجم التيار بين 200 و 100 م.أ فالصدمة الكهربائية تكون مميتة • والسبب فى ذلك هو أن فى حدود هذه القيم للتيار، يصاب القلب بحالة انقباض بطيئى غير منتظم (*ventricular fibrillation*) وهى أخطر من توقف القلب حيث أنه لا يمكن اسعافها بطرق الانعاش العادية ولذلك تؤدى حتما الى وفاة المصاب •

وإذا زاد التيار عن 200 م.أ فيؤدى ذلك الى توقف القلب والتنفس والى الإصابة بحروق خطيرة ، الا أنه إذا تم اسعاف المصاب فورا يمكن انعاشه وانقاذه من الموت •

3.1 تأثير زمن دوام التيار على خطورته

يتضح مما سبق أنه للحد من حدوث صدمات كهربية تؤدى الى وفاة المصاب يجب أن يكون حجم تيار الصدمة أقل من الحد الأدنى للتيار الذى يسبب الانقباض العضلى غير منتظم فى القلب • وكما ذكرنا فان حجم هذا التيار هو حوالى 100 ملى أمبير (القيمة الفعلية تختلف باختلاف وزن الجسم) إذا دام لأكثر من بضعة ثوانى • وتدل التجارب والاحصائيات أن كلما قل زمن مرور التيار كلما استطاع الانسان أن يتحمل تيارات أكبر بدون حدوث الانقباض العضلى فى القلب • ورغم أن هناك اجماع تام بين العاملين فى هذا المجال على أهمية عنصر الزمن ، الا أنه لا يوجد أى قانون أو معادلة عامة متفق عليها دوليا للربط بين زمن مرور التيار والحد الأدنى لحجم التيار الذى يؤدى الى الانقباض • ولعل أكثر علاقة استخداما هى العلاقة التجريبية التى توصل اليها دالزيل (1) بعد تحليل عديد من التجارب والتى عدلت مؤخرا بعد مزيد من

(1) C. F. Dalziel, "Dangerous electric currents" *AIEE Trans.*, Vol. 65, pp. 579 - 585, and 1123 - 1124, 1946

التجارب (2) . وهذه العلاقة هي :

$$I_b = k / \sqrt{t} \text{ ampere} \quad (1 - 1)$$

حيث t هو زمن دوام تيار الصدمة I_b بالثانية ، و k هو ثابت تعتمد

قيمته على وزن جسم الانسان .

$k = 0.116$ بالنسبة الى 99.5% من الاشخاص الذين يزنون 50 كيلو جرام

$k = 0.157$ بالنسبة الى 99.5% من الاشخاص الذين يزنون 70 كيلو جرام

واذا فرضنا أن $k = 0.116$ ، نجد أن

$$I_b = 116 \text{ mA} \quad t = 1 \text{ sec}$$

$$I_b = 367 \text{ mA} \quad t = 0.1 \text{ sec.}$$

وجدير بالذكر أن هذه المعادلة مبنية على تجارب تراوح فيها زمن دوام التيار بين 0.03 ثانية و 3 ثواني ، وعلى فرض أن المقاسومة الكلية لجسم الانسان هي ألف أوم (انظر فقرة 4.1) .

واذا كان هناك احتمال أن يطول زمن الصدمة بدون اسعافات فورية ، فلتفادى أختناق المصاب نتيجة لتوقف التنفس ، يستحسن أن يكون الحد الأقصى لتيار الصدمة هو 25 م.أ بدلا من 100 م.أ ، الا أن البعض يفضل ألا يزيد حجم التيار في هذه الحالة عن حد الاعتناق (9 م.أ للرجال ، و 6 م.أ للنساء) .

(2) J. G. Sverak, W.K. Dick, T.H Dodds and R.H. Heppe,
"Safe substation grounding - Part 1" IEEE Trans. PAS,
p. 4281, September 1981

وتبين المعادلة (1-1) أنه يمكن السماح بمرور تيار صدمة أكبر اذا استخدمت أجهزة وقاية سريعة العمل لفصل الخطأ الكهربى والحد من زمن دوامه .

4.1 المقاومة الكهربائية لجسم الانسان

من الصعب تحديد قيمة المقاومة الكهربائية لجسم الانسان بدقة فهذه المقاومة تعتمد على عدة عوامل من بينها السن ، والوزن ، والحالة البدنية ، ودرجة جفاف الجلد ووضع الجسم عند حدوث الصدمة . وتتكون مقاومة الجسم عامة من مقاوة الجلد والمقاومة الداخلية للجسم .

وتتراوح مقاومة الجلد بين 1000 أوم/سم² للجلد المبتل و 3×10^5 أوم/سم² للجلد الجاف ، وقد تكون أكثر من ذلك بالنسبة للأيدى المخشنة نتيجة للعمل اليدوى .

أما المقاومة الداخلية للجسم فهي فى حدود 400 - 600 أوم بين الأطراف (يد الى يد أو يد الى قدم أو قدم لقدم) .

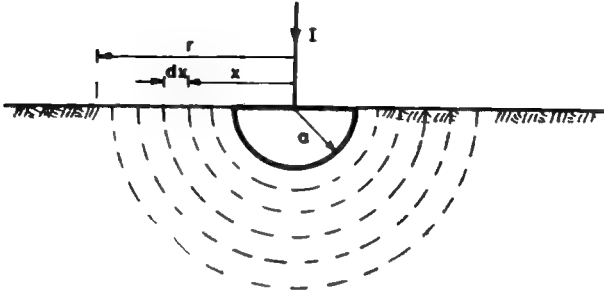
ورغم أن هناك تفاوتاً كبيراً فى قيمة المقاومة الكلية للجسم الا أن بناء على التجارب العديدة والخبرة ترى جمعية ال *IEEE* الامريكية أن 1000 أوم هى قيمة مناسبة لمقاومة الجسم الكلية بين الأطراف ، وهى القيمة التى سوف نستخدمها فيما يلى .

الفصل الثاني

المقاومة الأرضية

1.2 المقاومة الأرضية للكتروود نصف كروي

ان الشكل النصف كروي (شكل 2 - 1) هو أبسط الاشكال الهندسية للكتروودات التأسيس من حيث سهولة حساب مقاومتها للأرض . واذا تصورنا أن المنطقة التي حول الالكتروود مقسمة الى قشر نصف كروية متساوية السمك وبفرض مقاومة منتظمة للتربة ، فمن الواضح أن أكبر مقاومة هي للقشرة المجاورة للالكتروود حيث أن لها أصغر مساحة عمودية على مسار التيار . وكل قشرة من القشر المتتالية لها مساحة أكبر وبالتالي مقاومة أصغر من القشرة التي قبلها .



شكل 2 - 1

ويمكن حساب المقاومة بين الالكتروود وبين الأرض كالاتي . فلنفرض أن نصف قطر الالكتروود هو a متر وأنه يحمل للأرض تيارا I أمبير وأن مقاومة الأرض هي ρ أوم - متر . المقاومة العنصرية لقشرة نصف قطرها x وسمكها dx هي :

$$dR = \rho dx / 2\pi x^2$$

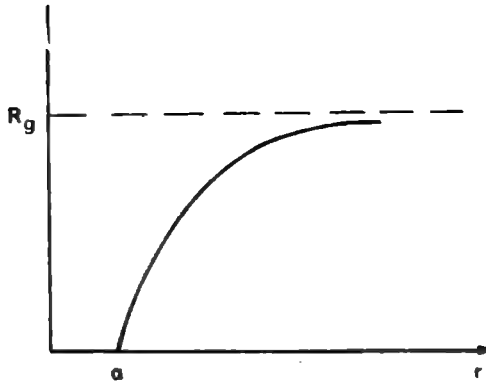
والمقاومة بين سطح الالكترود وأى نقطة على بعد r من مركزه هي ،

$$(1-2) \quad R = \int_a^r dR = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{r} \right)$$

وإذا افترضنا أن r هي نقطة فى مالا نهاية ، تصبح المقاومة المطلقة للالكترود ،

$$(2-2) \quad R_g = \frac{\rho}{2\pi a} \text{ ohm}$$

ويبين الشكل 2-2 منحنى تغير مقاومة الالكترود النصف كروى مع المسافة . ويتضح من المعادلة (1-2) أن 90% من المقاومة المطلقة بين الالكترود والارض مركزة فى منطقة حول الالكترود نصف قطرها عشرة أمثال نصف قطر الالكترود نفسه .

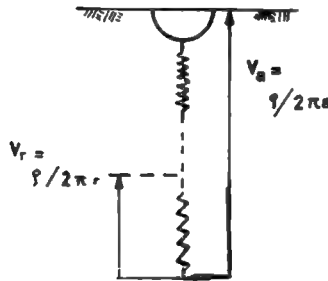


شكل 2 - 2

ومن الواضح أن فرق الجهد بين الالكترود وبين أى نقطة تبعد مسافة r منه هو ،

$$(3-2) \quad V_{ar} = IR = \frac{I\rho}{2\pi a} - \frac{I\rho}{2\pi r}$$

وإذا تذكرنا أن الجهد المطلق عند أى نقطة هو الجهد عند هذه النقطة بالنسبة لنقطة تقع فى مالا نهاية (جهدها صفر) فإن الجهد المطلق للالكترود هو (شكل 2 - 3) ،



شكل 2 - 3

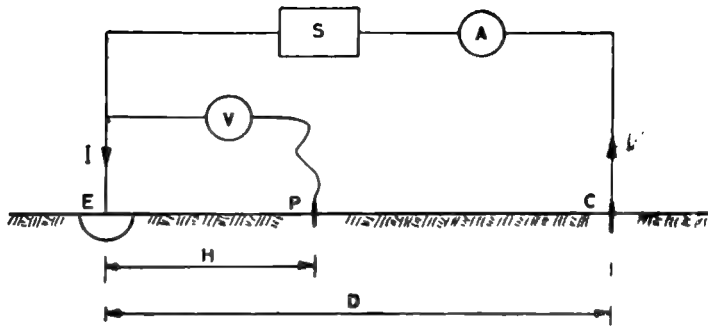
$$V_a = \frac{I \rho}{2\pi a}$$

والجهد المطلق للنقطة r هو

$$V_r = \frac{I \rho}{2\pi r}$$

2.2 طريقة قياس مقاومة الكترود التآريض

لعل الطريقة الأكثر تعويلا والاكثر استخداما لقياس المقاومة للأرض للالكترود التآريض هي المعروفة باسم طريقة هبوط الجهد (fall - of - potential method) وفى هذه الطريقة (شكل 2 - 4) يمثل E الكترود التآريض ، و P و C هما الكترودان مساعدان . وإذا مر تيار I بين E و C وكان فرق الجهد بين E و P هو V ، فإن خارج القسمة V/I (تحت شروط مناسبة سنذكرها فيما يلى) يعطى المقاومة المطلوبة للالكترود E . وجدير بالذكر أن مصدر التيار I هو المنبع S الذى يولد جهدا ثابتا . وينبغى أن يكون التيار اما مترددا أو مستمرا مع تغير دورى فى اتجاهه وذلك لتفادى حدوث أى تحليل كهربائى . ويفضل أن يكون التردد أعلى من تردد القوى ، أى بين 70 و 80 هرتز ، وذلك لتسهيل ازالة التيارات الشاردة ذات تردد القوى .



شكل 2 - 4 . طريقة قياس مقاومة الكترود للارض

فلنفرض أنه يمكن اعتبار الكترود E نصف كرة نصف قطرها a ، الكترود المساعد C (الكترود التيار) على مسافة D من مركز نصف الكرة ، والكترود المساعد P (الكترود الجهد) على مسافة H من مركز الكرة ، ولنفرض أيضا أن تيارا I يدخل عند E ويخرج عند C . بالرجوع الى الفقرة السابقة نستطيع أن نعبر عن الجهود عند النقاط المختلفة كالآتي :

الجهد المطلق عند E الناتج عن دخول التيار : $I \rho / 2 \pi a$

الجهد المطلق عند E الناتج عن خروج التيار عند C :

$$- I \rho / 2 \pi (D - a)$$

$$= - I \rho / 2 \pi D \quad (D \gg a)$$

(ويلاحظ العلامة السالبة وهي نتيجة لانعكاس اتجاه التيار)

إذا ، فالجهد المطلق الكلي عند النقطة E هو ،

$$V_E = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{D} \right)$$

الجهد المطلق عند P الناتج عن دخول التيار عند E : $I \rho / 2 \pi H$

الجهد المطلق عند P الناتج عن خروج التيار عند C : $- I \rho / 2 \pi (D - H)$

إذا فالجهد المطلق الكلى عند النقطة P هو ،

$$V_P = \frac{I \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{D-H} \right)$$

وفرق الجهد بين النقطة E والنقطة P هو إذا

$$V_{EP} = V_E - V_P = V$$

$$= \frac{I \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{D} - \frac{1}{H} + \frac{1}{D-H} \right)$$

وإذا وضعنا ،

$$D/a = c ; H/a = p$$

فالمقاومة المقاسة بين E و P هى ،

$$R_{EP} = V/I = \frac{\rho}{2\pi a} \left(1 - \frac{1}{c} - \frac{1}{p} + \frac{1}{c-p} \right)$$

وحيث أن المقاومة الحقيقية لنصف الكرة هى $\rho/2\pi a$ ، نجد أن النسبة بين المقاومة المقاسة والمقاومة الحقيقية هى ،

$$(4-2) \quad 1 - \left(\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{c-p} \right) = \frac{\text{المقاومة المقاسة}}{\text{المقاومة الحقيقية}}$$

ثم وتمثل الكمية التى بين القوسين الخطأ الكسرى الناتج عن اختيار المسافات D و H • ولكى يصبح هذا الخطأ صفراً ،

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{c-p} = 0$$

$$p^2 + cp - c^2 = 0$$

والجذر الموجب لـ p هو

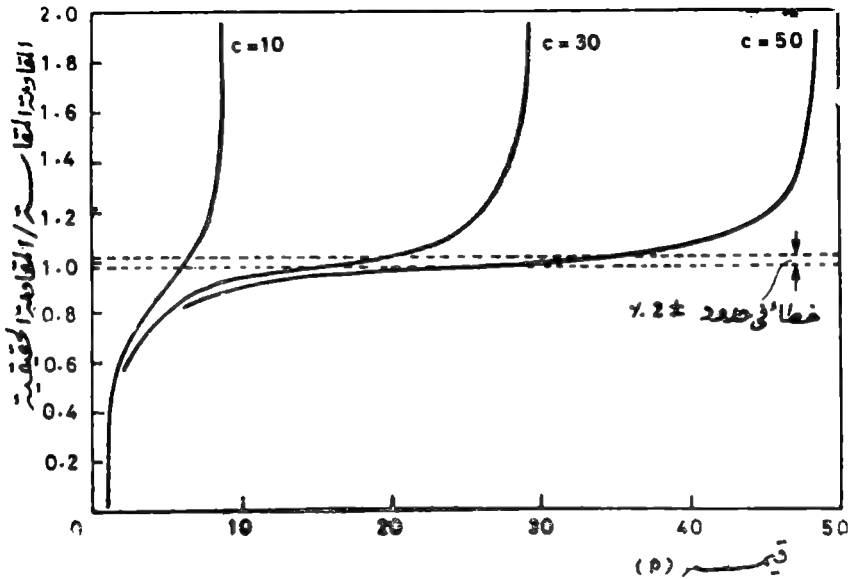
$$p = \frac{1}{2} c (\sqrt{5} - 1) = 0.618 c$$

أى

$$(5-2) \quad H = 0.618 D$$

وتدل هذه النتيجة على ان أيا كان البعد D بين الكترودى التيار ، فيمكن الحصول على المقاومة الحقيقية للالكترود التأريض عندما يكون البعد بينه وبين الكترود الجهد P 61.8% من المسافة D .

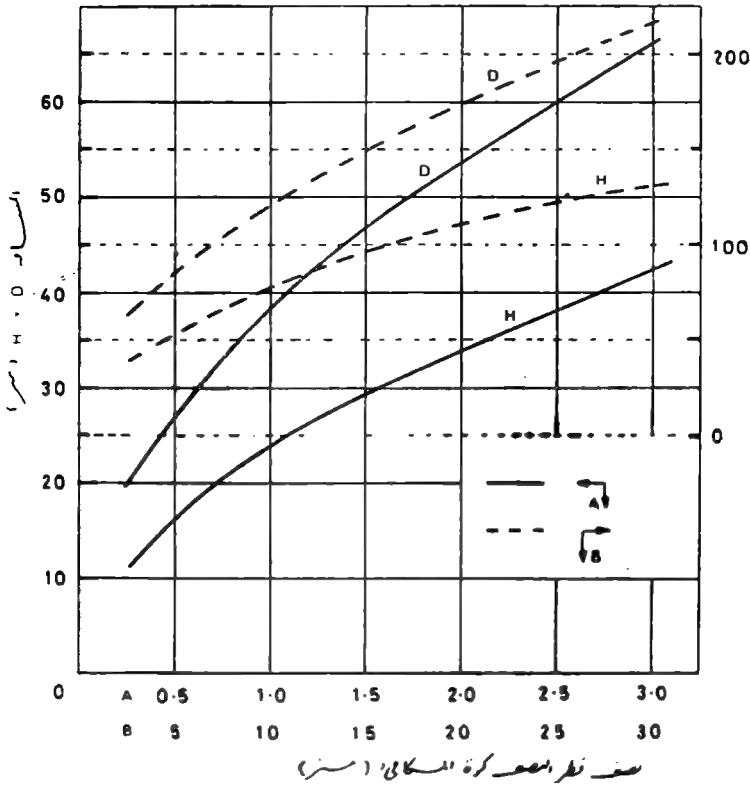
يمثل الشكل 2 - 5 الرسم البيانى للمعادلة (4-2) أى العلاقة بين الخطأ التكررى فى مقاومة الالكترود E وبين النسبة $p = H/a$ وذلك لقيم مختلفة للنسبة $c = D/a$ ومن الواضح أن كلما كبرت الكمية c كلما صغر الخطأ فى قيمة المقاومة الفعلية للالكترود E نتيجة لأى خطأ فى تحديد المسافة $H = 0.618D$ وقد اتفق على ألا تزيد قيمة الخطأ فى المقاومة الفعلية عن $\pm 2\%$. ويبين الشكل 2 - 6 العلاقة بين المسافتين H و D وبين نصف قطر الالكترود النصف



شكل 2 - 5 . الرسم البيانى للمعادلة (4 - 2)

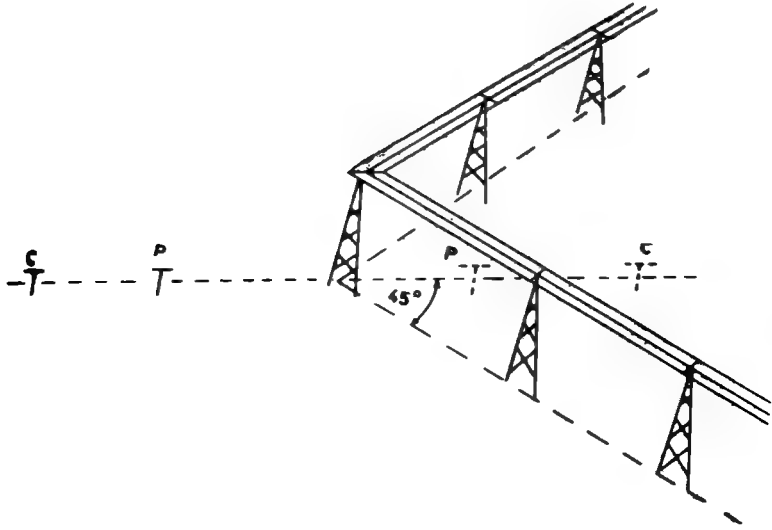
كروى E ، أو نصف قطر الالكترود النصف كروى المكافئ للالكترود أو مجموعة من الالكترودات قد تكون على شكل قضبان أو ألواح الخ (فقرات 1.3 الى 4.3) ، بحيث يقع الخطأ فى حدود $\pm 2\%$

وفى الحالات التى يتكون نظام التأريض من مجموعة من القضبان أو شبكة أرضية ، يجب وضع الالكترودات المساعدة خارج المساحة التى يقع فيها نظام التأريض ، ويوضع الالكترود المساعد P على بعد لا يقل عن 5 أضعاف طول أطول ضلع قطرى لهذه المساحة ، فى حين يوضع الالكترود المساعد C على بعد لا يقل عن 30 متر من P .



شكل 2 - 6 . تباعد الالكترودات المساعدة بحيث لا يزيد الخطأ فى قياس المقاومة للأرض عن $\pm 2\%$

وعند قياس المقاومة للأرض لأي برج من أبراج خط قوى هوائى يجب وضع
الالكترودات المساعدة فى الاتجاه العمودى لاتجاه الخط (وذلك لتفادى أى خطأ
ناتج عن الحث) • وإذا كان البرج هو برج زاوية (شكل 2 - 7) فيجب
وضع الالكترودات المساعدة على الخط المنصف للزاوية الخارجية • وإذا تعذر
ذلك فتوضع على الخط المنصف للزاوية الداخلية •



شكل 2 - 7 . وضع الالكترودات لقياس المقاومة للأرض لبرج زاوية

3.2 مقاومة التربة

ان المقاومة الكهربائية للتربة هي احدى العوامل الهامة التى تؤثر على قيمة
المقاومة للأرض لأي الكترود تأريض •

أن معظم التربة والصخور ليست موصلة للكهرباء فى حالة جفافها التام •
ولكن اذا احتوت على كمية من الماء تنخفض مقاومتها بكثير بحيث يمكن
اعتبارها موصلة الا ان درجة توصيلها ضئيلة جدا اذا قورنت بتوصيل المعادن.
فمثلا مقاومة النحاس النقى هي 0.016 ميكرو أوم - متر فى حين أن مقاومة

تربة عادية هي 100 أوم - متر * .

وأهم العوامل التي تحدد مقاومة التربة هي ،

1 - نوع التربة

2 - محتوى الرطوبة

3 - نوع الاملاح الذابة ودرجة تركيزها

4 - درجة الحرارة والضغط

5 - الحجم الحبيبي

ويبين الجدول التالي الحدود التقريبية لمقاومة الانواع المختلفة من الاتربة :

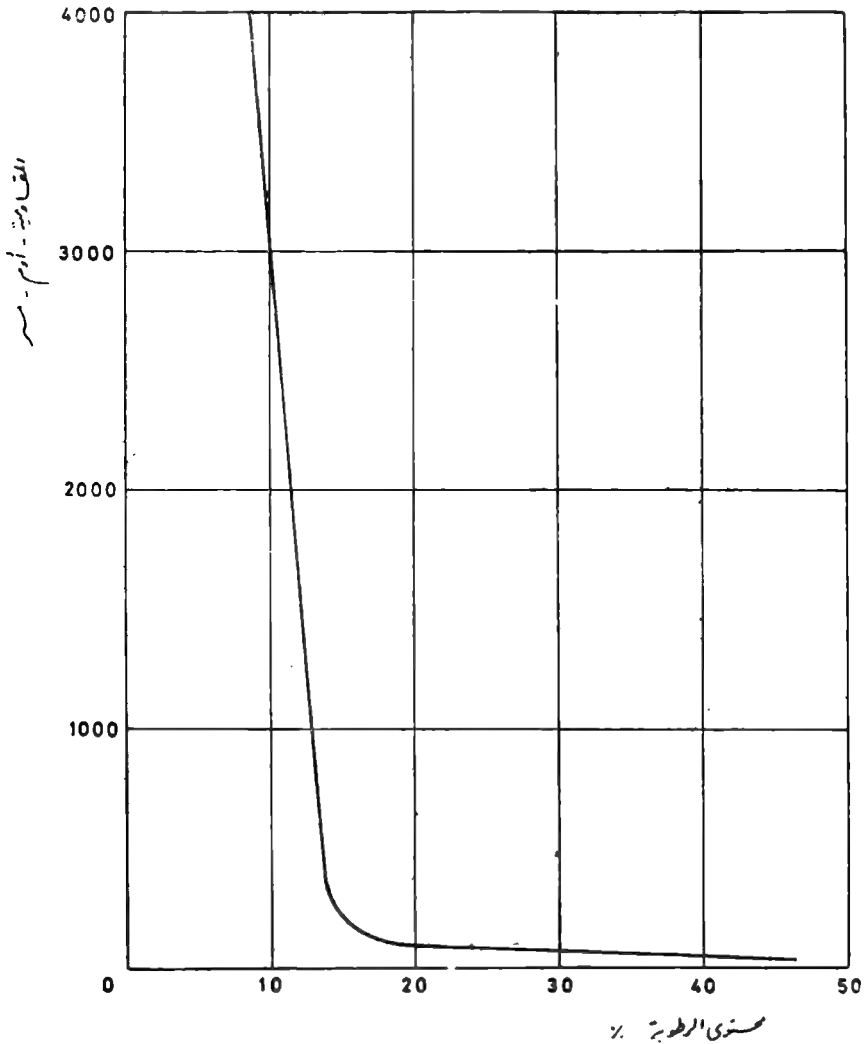
طفال رملي (مزيج من طين ورمل وقش)	5	—	50	أوم متر
طين	8	—	50	أوم متر
خليط من الطين الرملي والحصى	40	—	250	أوم متر
رمل وحصى	60	—	100	أوم متر
حجر رملي واردوز	10	—	500	أوم متر
صخور بلورية	200	—	10,000	أوم متر

ومن أهم العوامل التي تحدد مقاومة التربة هي كمية الماء المحتجزة في التربة (محتوى الرطوبة) ومقاومية هذا الماء نفسه وبالتالي كمية ونوع الاملاح الذابة فيه . ومحتوى الرطوبة لأى تربة يتغير بتغير الطقس ، بتغير فصول السنة ، بطبيعة التربة السفلية وعمق منسوب الماء الجوفى . ويندر أن تكون

* وحدة المقاومة بالاولوم - متر تمثل مقاومة مكعب طول أضلاعه 1 متر .
وجدير بالذكر أن 1 أوم - متر = 100 أوم - سم *

التربة جافة تماما الا فى الصحارى ، ولكن من النادر أيضا أن يزيد محتوى الرطوبة عن 40% ، وهو يتراوح من حوالى 10% فى الفصول الجافة الى حوالى 35% فى الفصول الممطرة .

وتدل القياسات على أن قيمة المقاومة لا تتغير كثيرا اذا ازداد محتوى الرطوبة عن 20% أما اذا قل عن ذلك فالمقاومة تتغير تغيرا كبيرا جدا كما هو مبين فى الشكل 2 - 8 .



شكل 2 - 8 . تغير مقاومة تربة طينية مع محتوى الرطوبة

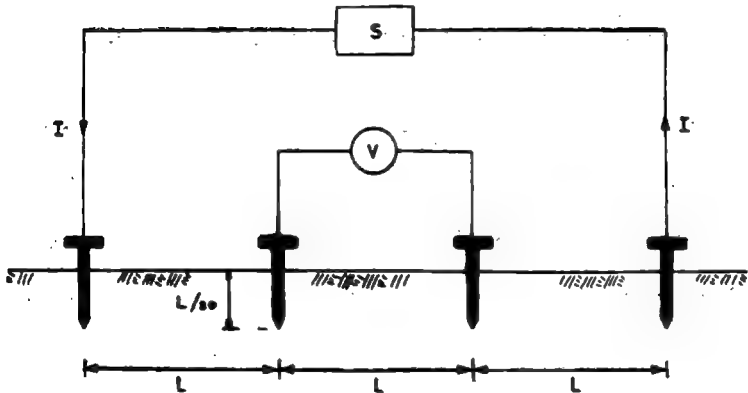
فمثلا إذا كان محتوى الرطوبة 10% نجد أن المقاومة 30 ضعف المقاومة عند محتوى رطوبة 20% . ونظرا لهذا التغير الكبير فان قياسات مقاومة التربة ، لغرض التأريض الكهربى ، يجب أن تتم فى فصل أو فترة الجفاف حيث أنها تمثل أسوأ الظروف بالنسبة للتأريض الكهربى .

وفى حالة تعذر قياس مقاومة التربة عند مكان ما ، يمكن الاسترشاد بالقيم المبينة فى الجدول التالى :

المقاومة (أوم - متر)	نوع التربة
10	تربة عضوية رطبة
100	تربة رطبة
1000	تربة جافة
10,000	تربة صخرية

4.2 قياس مقاومة التربة

ان أكثر الطرق استخداما لقياس مقاومة التربة هى طريقة وينر (Wenner) المبينة فى الشكل 2 - 9 .



شكل 2 - 9

تتدفق أربعة الكترودات على مستقيم واحد وعلى أبعاد متساوية ، ويمرر تيارا معلوما I من الإلكترود 1 الى الإلكترود 4 ويقاس فرق الجهد V بين الإلكترودين 2 و 3 .

الجهد المطلق عند 2 نتيجة لدخول التيار عند $I \rho / 2 \pi L = 1$

الجهد المطلق عند 2 نتيجة لخروج التيار عند $I \rho / 4 \pi L = 4$

إذا الجهد المطلق الكلي عند 2 هو ،

$$V_2 = I \rho / 4 \pi L$$

وبالمثل فالجهد المطلق الكلي عند 3 هو ،

$$V_3 = -I \rho / 4 \pi L$$

على ذلك فان فرق الجهد بين 2 و 3 هو ،

$$V_{23} = V_2 - V_3 = V = I \rho / 2 \pi L$$

ومقاومية التربة هي ،

$$(6-2) \quad \rho = (V/I) 2\pi L = 2\pi LR$$

وتمثل ρ المقاومة الحقيقية للتربة اذا كانت التربة متجانسة . أما اذا كانت التربة غير متجانسة فتمثل ρ المقاومة الظاهرية للتربة (*apparent resistivity*)

وعند قياس مقاومة الارض عند أى موقع يستحسن أن تجرى عدة قياسات بقيم مختلفة للمسافة ما بين الإلكترودات وذلك للتوصل الى القيمة المتوسطة للمقاومية ، وأى تغير فى المقاومة مع التغير فى المسافة بين الإلكترودات يدل على عدم تجانس التربة وخاصة على تغير المقاومة مع العمق ، والسبب فى ذلك هو ان كلما ازدادت المسافة بين الإلكترودات كلما ازداد العمق الذى يمر فيه التيار وقد جرى العرف أن فى هذه الحالات تمثل المقاومة الظاهرية المقاسة والإلكترودات المتتالية على بعد L ، متوسط مقاومة التربة حتى عمق L .

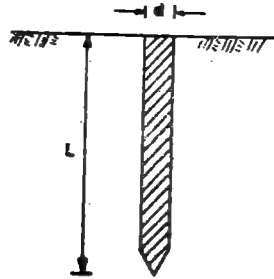
ورغم أن هذا الافتراض ليس دقيقا إلا أنه مقبول من الناحية العملية • ويجب تسجيل تاريخ القياس وحالة التربة (جافة أو مبتلة) ودرجة الحرارة وكذلك أى بيانات عن وجود (أو الاشتباه فى وجود) أى موصلات عارية مدفونة فى أرض الموقع حيث أن وجودها قد يؤثر على مسار التيار ، وبالتالي على قيمة المقاومة •

الفصل الثالث

الكترونيات التاريض

1.3 التاريض باستخدام الكترود واحد على شكل قضيب

رغم أن الكترود النصف كروي هو أسهل شكل هندسي لحساب مقاومته للأرض ، إلا أن من الناحية العملية فالكترود التاريض الشائع استخدامه (خاصة في شبكات توزيع القوى) هو على شكل قضيب اسطوانى مصمت (أو ماسورة) يمدق عموديا في الأرض كما هو مبين في الشكل 1 - 3.



شكل 1 - 3

ويمكن إيجاد قيمة المقاومة المطلقة لهذا الكترود بدقة كافية من المعادلة الآتية ،

$$(1-3) \quad R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{3L}{d}$$

حيث وحدات ρ هي أوم - متر ووحدات L و d هي متر . ويمكننا إيجاد

نصف قطر الالكترود النصف كروى المكافىء (أى الذى له نفس المقاومة للارض)
إذا ساوينا المعادلتين (2 - 2) و (3 - 1) ،

$$a = L/\ln (3L/d) \quad (2 - 3)$$

ونتيجة لظهور قطر القضيب فى الحد اللوغارتمى من المعادلة (3 - 1) ، فإن
قيمة المقاومة لا تتغير كثيرا بالتغير فى قطر القضيب ولذا يمكننا أن نقول
أن المقاومة تتناسب طرديا والمقاومية وعكسيا وطول القضيب . وبالرجوع الى
المعادلة (2-2) نرى أن مقاومة نصف الكرة تتناسب طرديا ومقاومية الارض
وعكسيا ونصف القطر . فاذا افترضنا أن مقاومة القربة زادت 100 مرة،
نجد أن فى حالة القضيب يزداد حجم التجهيزات 100 مرة أيضا ، فى حين
أن فى حالة النصف كرة يزداد هذا الحجم مليون مرة للحصول على نفس المقاومة
للارض . وهذه من أهم مميزات استخدام الكترود التأريض على شكل
قضيب .

ويبين الجدول 3 - 1 تغير المقاومة مع الطول لقضيب قطره 2.5 سم
وأيضا قيمة نصف قطر الالكترود النصف كروى المكافىء لكل طول . وقد بينا
فى العمود الاخير من هذا الجدول قيم المقاومة لقضيب نصف قطره 5 سم .
وبمقارنة هذه القيم بالقيم المبينة فى العمود الثانى نجد أن قطر القضيب ليس
له أى تأثير ملموس على قيمة المقاومة ، ولذلك ، فمن الناحية العملية يتم
اختيار قطر القضيب بحيث يتحمل دقه فى الارض بدون أن ينثنى أو يصاب
بأى تلف ميكانيكى آخر .

وللتوصل الى القيمة المرغوب فيها للمقاومة للارض يمكن استخدام قضبان
طويلة أو استخدام عدد من القضبان القصيرة وتوصيلها على التوازي .

جدول 3 - 1 تغير المقاومة للأرض مع طول القضيب

طول القضيب L متر	مقاومة القضيب R أوم	نصف القطر المكافئ a متر	مقاومة القضيب R أوم
			$(d = 5 \text{ سم})$
1	0.76ρ	0.21	0.65ρ
2	0.44ρ	0.36	0.38ρ
4	0.25ρ	0.64	0.22ρ
8	0.137ρ	1.16	0.123ρ
16	0.075ρ	2.12	0.07ρ
32	0.04ρ	3.98	0.04ρ

ويبين الشكل 3-2 العلاقة بين طول قضيب قطره 2.5 سم ومقاومته للأرض على فرض أن مقاومة التربة 100 أوم - متر .

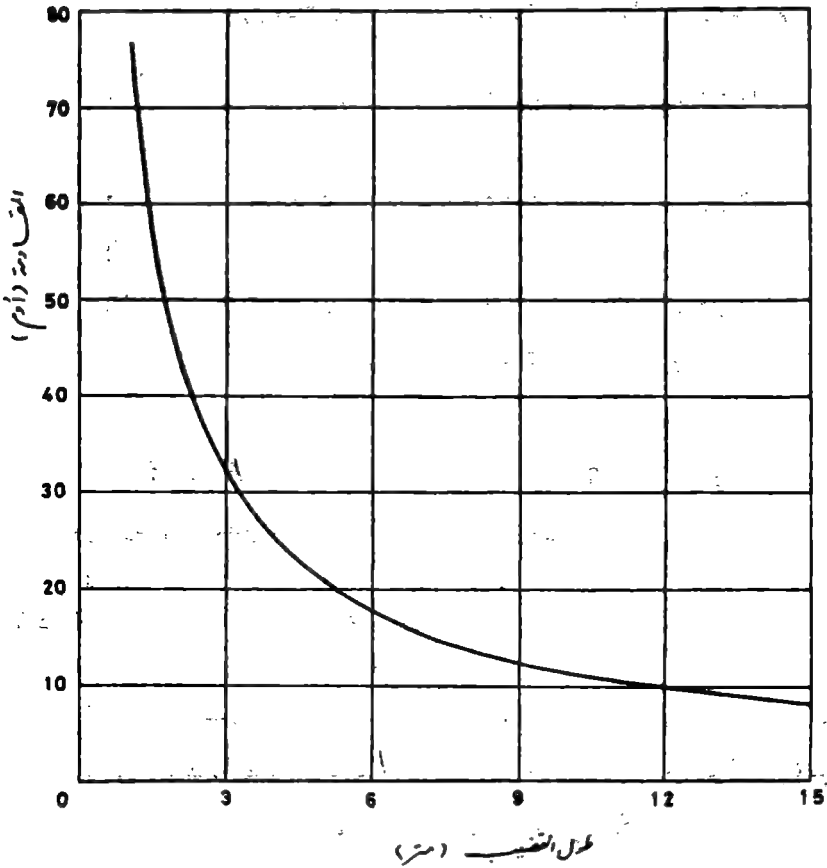
2.3 التاريض باستخدام قضبان متعددة

في كثير من الاحيان نجد أن مد طول القضيب وحده لا يكفي للتوصل الى المقاومة للأرض المرغوب فيها ، خاصة اذا كانت مقاومة التربة عالية . وفي هذه الحالات يجب استخدام عدد من القضبان موصلة على التوازي .

وعند استخدام عدد من الالكترودات على التوازي فان المقاومة للأرض لا تنخفض بنسبة عدد هذه الالكترودات الا اذا كانت المسافة بين كل الكترود والآخر ما لانهاية ، وحيث أن هذا غير عملي ، فيجب معرفة ماهو تأثير المسافة بين الالكترودات على نسبة الانخفاض في مقاومة الالكترود الواحد . وسنكتفي هنا بحساب هذه النسبة عند استخدام الكترودين .

فلنفرض أن الالكترودين متشابهين ، أن المسافة بينهما d ، وأن نصف

قطر الالكترود النصف كزوى المكافئ هو a (شكل 3 - 3) . نظرا لئتمائل الشكل فكل الكترود سيحمل تيارا $1/2 I$ للارض . وايما الى الفقرة 1 . 2 نجد أن الجهد المطلق لأى من الالكترودين هو ،



شكل 3 - 2

العلاقة بين طول القضيبة ومقاومته للارض قطر القضيبة 2.5 سم ومقاومية التربة 100 أوم - متر

$$V = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{d} \right] \frac{1}{2} I$$

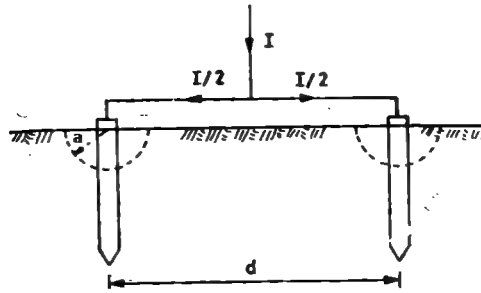
والمقاومة الكلية للارض للالكترودين على التوازي هى اذا

$$R = V/I = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{\pi a} [1 + (a/d)]$$

وإذا رمزنا للنسبة a/d بـ α ،

$$(3-3) \quad \frac{1}{2} (1 + \alpha) = \frac{\text{مقاومة قضيبين على التوازي}}{\text{مقاومة قضيب واحد}}$$

وسوف نشير الى هذه النسبة بنسبة المقاومة . ومن الواضح أن هذه النسبة لا تساوى 0.5 الا اذا كانت d مالا نهاية . ويبين الجدول (3 - 3) نسبة المقاومة لبعض التشكيلات المختلفة .



شكل 3 - 3

جدول 3 - 2 نسبة المقاومة لبعض التشكيلات المختلفة لقضبان التاريف

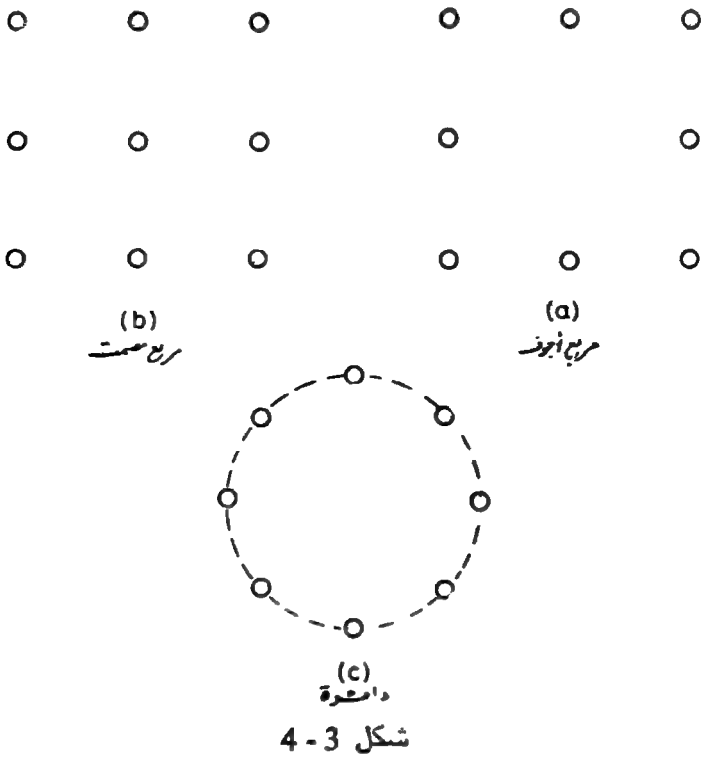
التشكيل	نسبة المقاومة
ثلاثة قضبان على مستقيم واحد	$(2 + \alpha - 4\alpha^2)/(6 - 7\alpha)$. . .
ثلاثة قضبان على شكل مثلث	
متساوى الاضلاع	$(1 + 2\alpha)/3$
أربعة قضبان على مستقيم واحد	$(12 + 16\alpha - 21\alpha^2)/(48 - 40\alpha)$

وعندما يزداد عدد القضبان اللازمة للحصول على قيمة المقاومة الأرضية المرغوب فيها ، فأكثر التشكيلات استخداما هى الآتية (شكل 3 - 4) :-

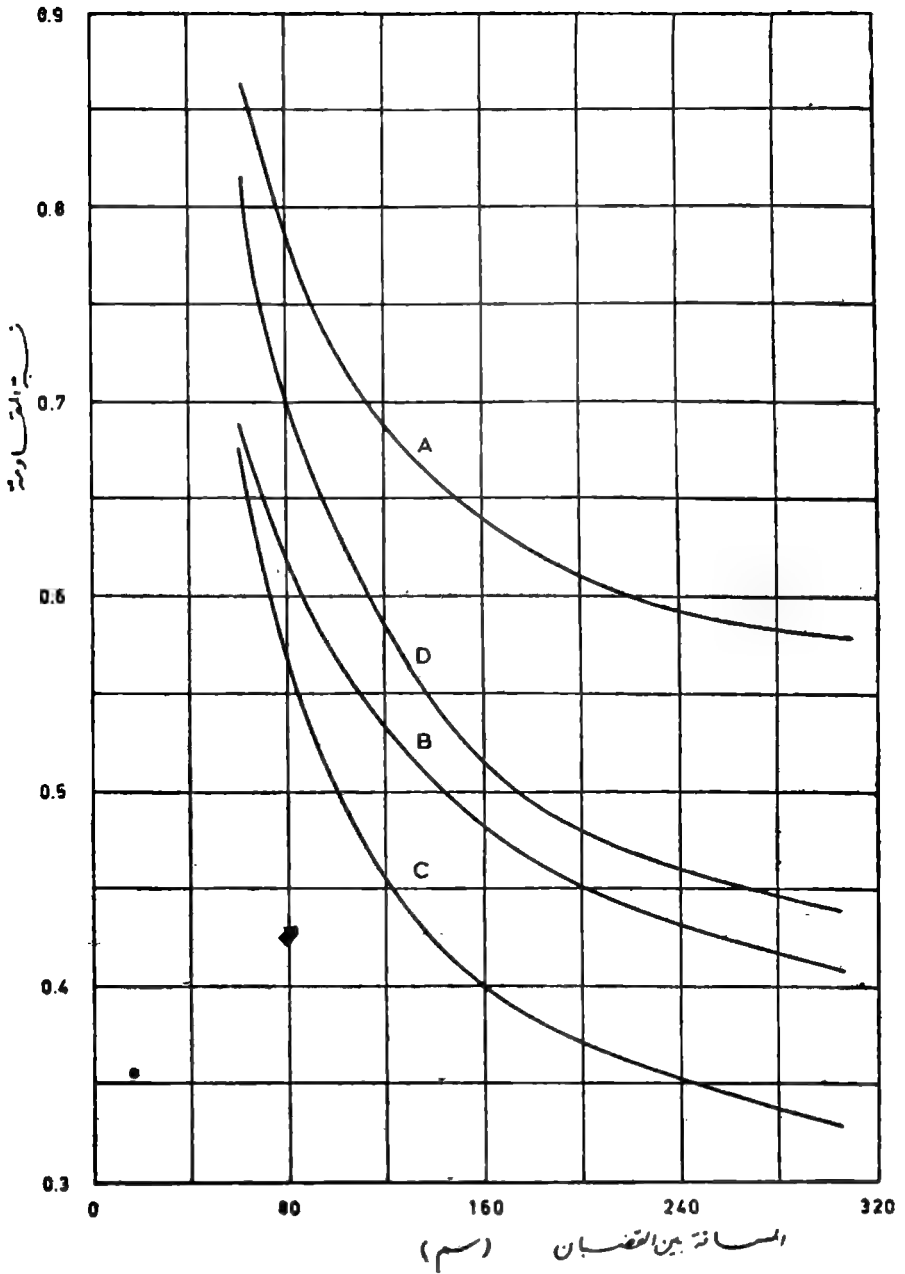
1 - توزيع القضبان على شكل مربع أجوف (*hollow square*) كما هو مبين في الشكل 3-4 (a) وإذا كان عدد القضبان في كل ضلع هو n ، فالعدد الكلي للقضبان هو $4n - 4$.

2 - توزيع القضبان على شكل مربع مصمت (*solid square*) كما هو مبين في الشكل 3-4 (b) .

3 - توزيع القضبان على محيط دائري كما هو مبين في الشكل 3-4 (c)



ويبين الشكل 3-5 عددا من المنحنيات التي يمكن من خلالها إيجاد نسبة المقاومة للتشكيلات المذكورة أعلاه . وجدير بالذكر أنه وجد أن هذه النسبة النظرية هي دائما من 5 إلى 20% أعلى من النسبة المقاسة عمليا ولذلك فإنها دائما جانحة ناحية الأمان .



شكل 3 - 5

العلاقة بين نسبة المقاومة والمسافة بين القطبان لعدة تشكيلات

A - قضيبان على مستقيم واحد

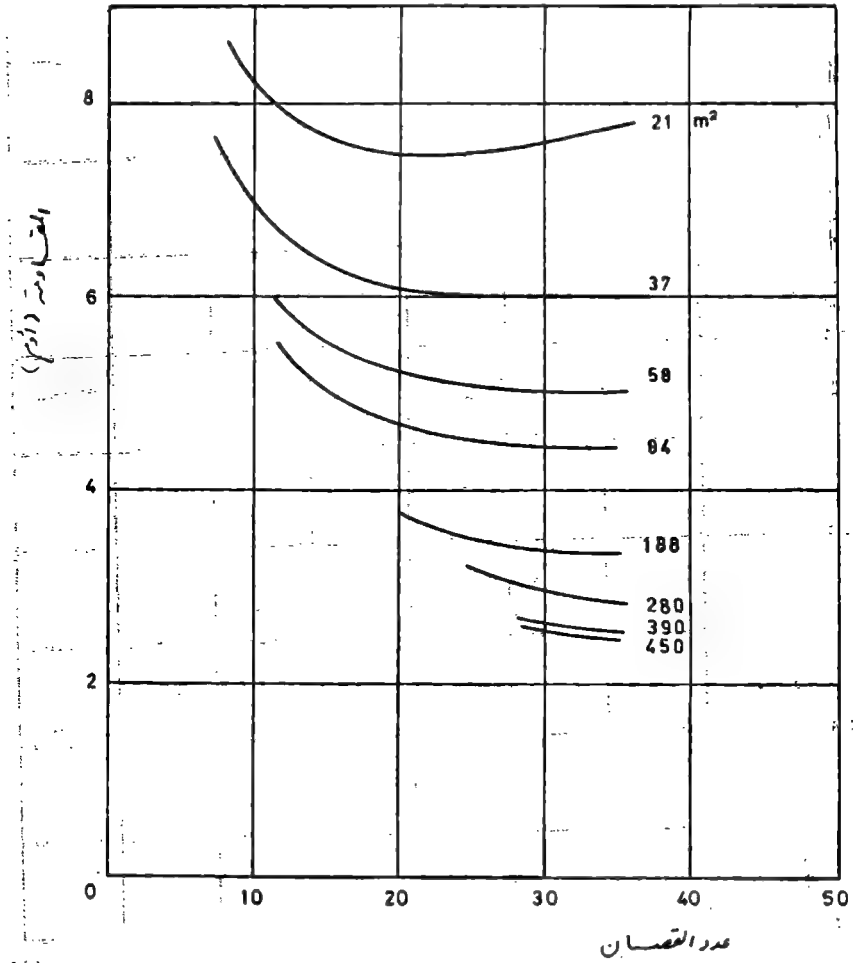
B - ثلاثة قضبان على مستقيم واحد

C - أربعة قضبان على مستقيم واحد

D - ثلاثة قضبان على شكل مثلث متساوي الاضلاع

(طول كل قضيب 2.4 متر ، وقطره 2.5 سم ومقاومية التربة 100 أوم - متر)

وفى كثير من الحالات تكون المساحة المتاحة لغرض التأريض محدودة ، ففي هذه الحالات يجدر بنا أن نعرف ما هو عدد وتشكيل القضبان الذى يؤدي الى أمثل استخدام للمساحة للتوصل الى نظام تأريض فعال .



شكل 3-6

المقاومة للأرض لقضبان موزعة على شكل مربع أجوف له مساحة محددة . كل قضيب طوله 2.5 متر وقطره 2.5 سم ومقاومية الأرض 100 أوم - متر

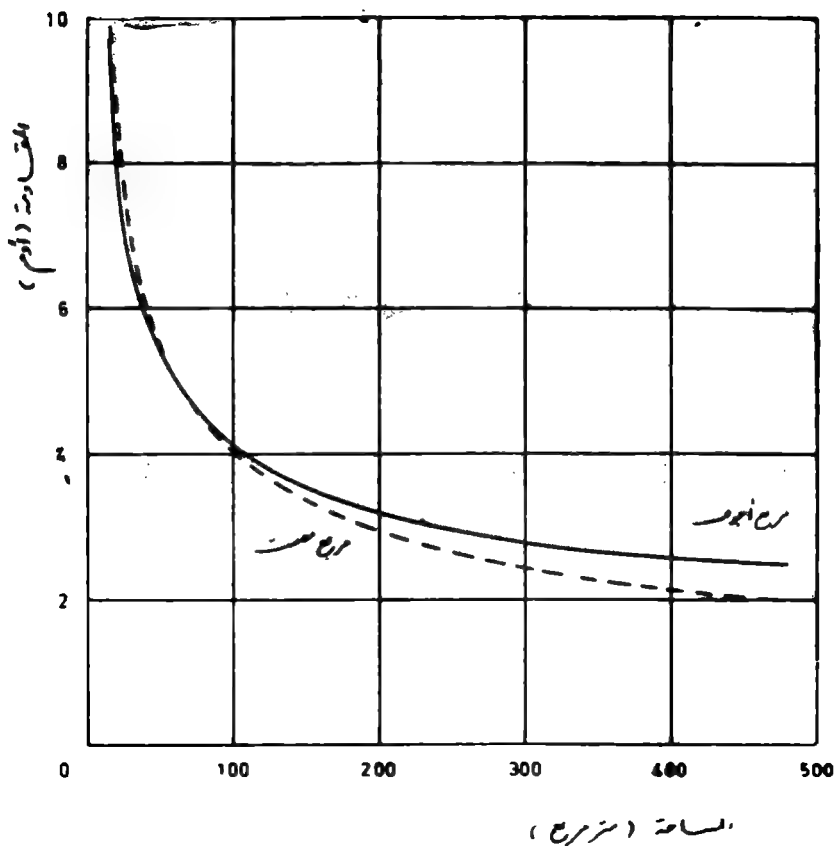
يبين الشكل 3 - 6 العلاقة بين المقاومة للأرض وبين عدد القضبان اللازمة للحصول على هذه المقاومة ، وذلك بالنسبة لمساحات مختلفة ، وتوزع الالكترودات على شكل مربع أجوف؛ وقد افترض أن كل قضيب طوله 2.5 متر وقطره 2.5 سم وأن مقاومة الأرض 100 أوم - متر . ويوضح هذا الشكل أن هناك حدا أدنى للمقاومة التي يمكن الحصول عليها داخل مساحة معينة ، وأيضا حدا اقتصاديا لعدد القضبان اللازمة للحصول على هذه المقاومة . وعلى سبيل المثال ، إذا كانت المساحة 36 مترا مربعا نجد أن الحد الأدنى للمقاومة هو 6 أوم وأن العدد الاقتصادي للقضبان هو 16 . وإذا أردنا التوصل الى مقاومة أصغر من 6 أوم فيجب استخدام مساحة أكبر للتأريض . أما إذا كانت مقاومة الأرض 2000 أوم - متر بدلا من 100 أوم - متر فالحد الأدنى للمقاومة يصبح 120 أوم ($2000/100 \times 6$) بدلا من 6 أوم .

ويبين الشكل 3 - 7 العلاقة بين المساحة وبين الحد الأدنى للمقاومة في حالة توزيع القضبان على شكل مربع أجوف وفي حالة توزيعها على شكل مربع مصمت . ومن الواضح أنه إذا كانت المساحة محدودة فإن اضافة قضبان داخل المربع الاجوف لا يؤدي الا الى انخفاض ضئيل في المقاومة مما يجعل اضافة مثل هذه القضبان غير اقتصادي .

3 - 3 التأريض باستخدام أسلاك مدفونة أفقيا

إذا كانت طبيعة الأرض صخرية أو إذا تواجدت طبقة صخرية بتقرب سطح الأرض بحيث يصعب استخدام الكترود على شكل قضيب ، ففي هذه الحالات يتكون الكترود التأريض من سلك مدفون افقيا بتقرب سطح الأرض (على عمق يتراوح بين 0.5 و 1.0 متر) . ويأخذ هذا السلك أشكالا مختلفة: فقد يكون على

شكل مستقيم أو على شكل زاوية قائمة أو على شكل نجمة متعددة الاذرع (شكل 3 - 8) .



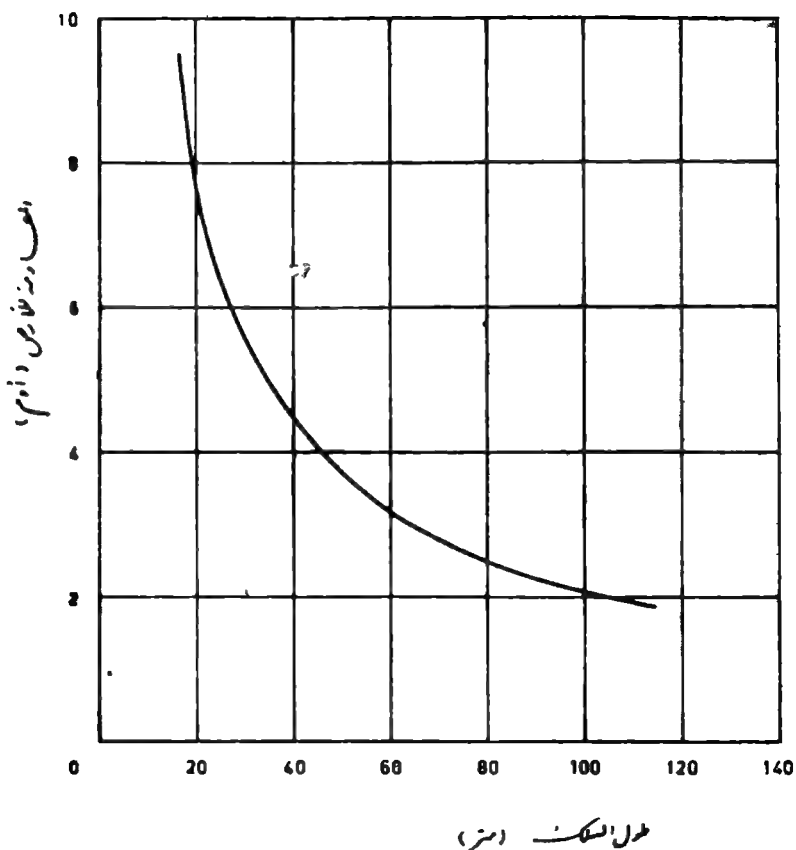
شكل 3 - 7

الحد الأدنى للمقاومة للأرض في حالة توزيع قضبان طولها 2.5 متر وقطرها 2.5 سم داخل مساحة محددة • مقاومة التربة 100 أوم - متر



شكل 3 - 8

ويبين الشكل 3 - 9 تغيير المقاومة مع طول لسلك مستقيم مدفون أفقياً • ويلاحظ أنه إذا زاد طول السلك عن 90 متر فإن معدل انخفاض المقاومة مع الزيادة في الطول يصبح صغيراً جداً •



شكل 3 - 9

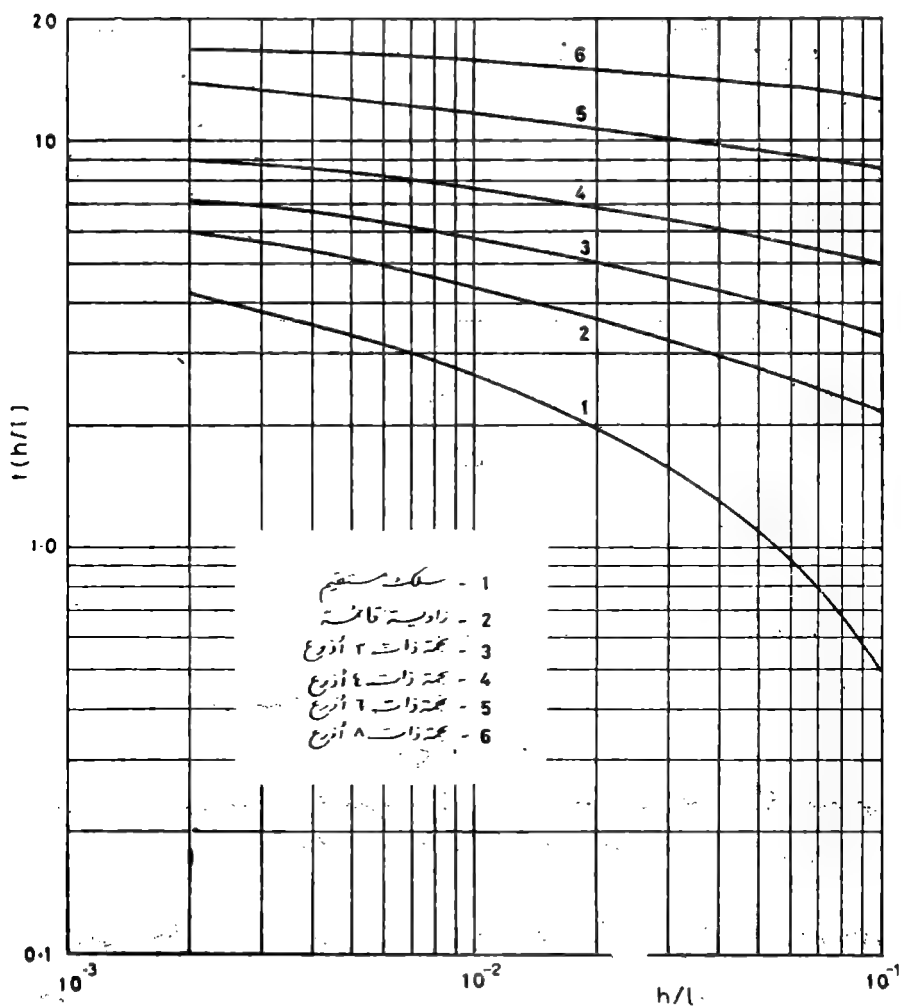
تغير المقاومة مع طول سلك قطره 2.5 سم ومدفون على عمق 60 سم في تربة مقاومتها 100 أوم - متر

وفي الحالة العامة اذا فرضنا أن L هو الطول الكلي للسلك ، l هو طول الذراع الواحد ، d هو قطر السلك و h هو عمق السلك من سطح الارض ، فيمكن ايجاد قيمة المقاومة للارض من المعادلة الآتية :

$$(4-3) \quad R = \frac{\rho}{2\pi L} [\ln(l/d) + f(h/l)]$$

حيث $f(h/l)$ هي دالة من النسبة h/l تختلف قيمتها على حسب تشكيل

السلك • ويمكن إيجاد قيمة هذه الدالة من المنحنيات المبينة في الشكل 3-10 لستة تشكيلات مختلفة •



شكل 3-10 .
 تغيير الدالة $f(h/l)$ مع النسبة (h/l) لأشكال مختلفة من الكترودات القاريض

وإذا فرضنا أن $L = 150$ متر ، $d = 2.5$ سم ، $h = 90$ سم و $\rho = 100$ أوم - متر نجد أن مقاومة التشكيلات المختلفة هي كالاتي :

سلك مستقيم	...	...	..	1.21 أوم
زاوية قائمة	...	...	..	1.24
نجمة ذات ٣ أذرع	...	...	..	1.29
نجمة ذات ٤ أذرع	...	...	..	1.42
نجمة ذات ٦ أذرع	...	...	...	1.75
نجمة ذات ٨ أذرع	...	...	...	2.25

ونرى من هذه النتيجة أن إذا كان طول السلك محدد فالسلك المستقيم هو الذى يعطى أقل مقاومة • أما إذا افترضنا أن لدينا مساحة نصف قطرها 30 متر ، فلنفس القيم السابقة لكل من d ، h ، ρ يبين الجدول 3 - 3 المقاومة وأطوال الاذرع والطول الكلى للسلك بالنسبة للتشكيلات المختلفة •

جدول 3 - 3 المقاومة للأرض للتشكيلات المختلفة لسلك قطره 2.5 سم مدفون على عمق 90 سم فى مساحة قطرها 60 متر ومقاوميتها 100 أوم - متر

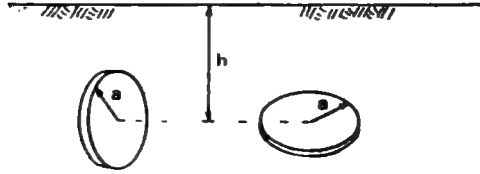
التشكيل	المقاومة (أوم)	أطوال الاذرع (متر)	الطول الكلى للسلك (متر)
سلك مستقيم	2.9	60	60
زاوية حادة	2.25	43	86
نجمة ذات ٣ أذرع	2.2	30	90
نجمة ذات ٤ أذرع	1.9	30	120
نجمة ذات ٦ أذرع	1.6	30	180
نجمة ذات ٨ أذرع	1.44	30	240

ويتضح من هذا الجدول أن المقاومة للأرض لنجمة لها ثمانية أذرع هى نصف مقاومة السلك المستقيم ولكنها تحتاج الى أربعة أضعاف كمية السلك • ونظرا للزيادة الكبيرة جدا فى طول السلك اللازمة لتحقيق تخفيض طفيف فى قيمة المقاومة ، فمن الناحية العملية لا تستخدم أكثر من ثلاثة أو أربعة أذرع •

4.3 الألواح المدفونة كالكثروودات تأريض •

فى الماضى كانت الألواح المدفونة تستخدم بكثرة كالكثروودات تأريض ولكن انخفاض كفاءة استخدام المعدن (أى كمية المعدن المطلوبة للحصول على قيمة معينة للمقاومة) بالنسبة للقضبان أو الأسلاك المدفونة يجعل استخدامها غير اقتصادى •

ويمكن ايجاد المقاومة للأرض للوح دائرى نصف قطره a متر ومركزه على عمق h متر من سطح الأرض ، ومدفون أما افقيا أو رأسيا (شكل 3 - 11) من المعادلة الآتية :



شكل 3 - 11

$$(5 - 3) \quad R = \frac{\rho}{8a} [1 + a/(2.5 h + a)]$$

وللأعماق الكبيرة

$$(6 - 3) \quad R = \rho/8a$$

وجدير بالذكر أن سمك اللوح ليس له أثرا يذكر على المقاومة •

5.3 استخدام مواسير الماء أو الغاز أو حديد التسليح كالكثروودات تأريض

فى بعض الاحيان يمكن استخدام المواسير المعدنية لشبكة الماء أو الغاز كالكثروودات التأريض ، ولكن قبل اتخاذ هذا القرار يجب قياس مقاومتها للأرض ويجب أيضا التأكد من الاستمرارية الكهربائية لجميع الوصل (باستخدام

وصلات تخطى) وضمان هذه الاستمرارية بعد إجراء أى أعمال تصليح أو صيانة ويجب أيضا ضمان عدم التبديل المستمر لأجزاء من المواسير المعدنية بمواسير مصنوعة من المواد اللدنة الاصطناعية (بلاستيك) . وفى حالة عدم امكانية الالتزام بهذه الضمانات يجب صرف النظر عن هذه الطريقة للتأريض .

وفى المباني التى يستخدم فيها حديد التسليح فى الاساسات الخرسانية مثل قواعد الاعمدة يمكن استخدام قضبان التسليح كالكترودات تأريض حيث أن مقاومة الخرسانة عندما تكون تحت سطح الارض تصل الى حوالى 30 أوم - متر أى أقل من القيمة المتوسطة لمقاومية التربة نفسها (100 أوم - متر) . وفى هذه الحالة يكفى عمل توصيلات مناسبة بين أى قضيب تسليح أساسى فى كل قاعدة وبين موصل الارض العمومى عند لوحة التوزيع .

6.3 مساحة المقاومة (Resistance Area)

يبين الشكل 2-2 أنه كلما ازدادت المسافة من الكترود التأريض كلما ازدادت النسبة بين قيمة المقاومة المحصورة داخل هذه المسافة وبين المقاومة الكلية (الماطقة) لالكترود . ومن الواضح أن معدل هذه الزيادة هو معدل متناقص . ومن الناحية النظرية لا يمكن حصر المقاومة الكلية الا اذا كانت المسافة ما لا نهاية . أما من الناحية العملية ، فهناك حجم محدود من الارض يحيط بالالكترود ويحتوى على «الجزء الاعظم» من المقاومة . وقد اتفق على أن يكون هذا الجزء الاعظم هو 98 % من المقاومة الكلية .

لقد رأينا من المعادلة (2 - 1) أن المقاومة بين نصف كرة نصف قطرها a متر وبين أى نقطة على بعد r متر من مركزها هى

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{r} \right)$$

ونسبة المقاومة المحصورة حتى هذا البعد هى ،

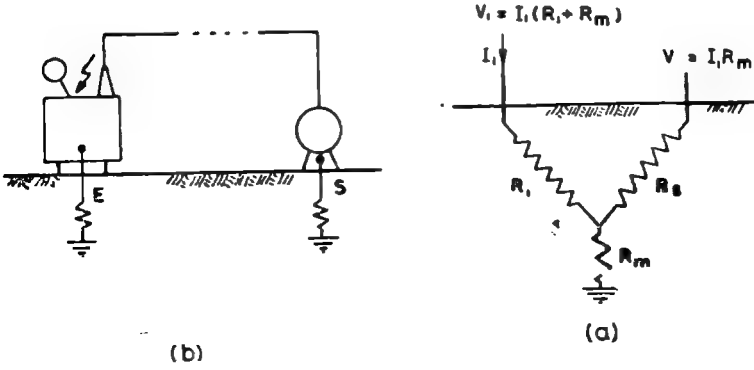
$$1 - \frac{a}{r}$$

وإذا افترضنا أن النسبة المئوية هي x نجد أن

$$(7 - 3) \quad r = \frac{100 a}{100 - x}$$

وإذا كان الكترود التآريض عبارة عن قضيب طوله 2.5 متر (وهو أقل طولاً مسموح به للقضبان) ونصف قطره 2.5 سم ، فنصف قطر الالكترود النصف كروى المكافئ هو 43.2 سم ونجد أن نصف قطر مساحة المقاومة هو

$$r = 43.2 / (100 - 98) = 21.6 \text{ متر}$$



شكل 3- 12

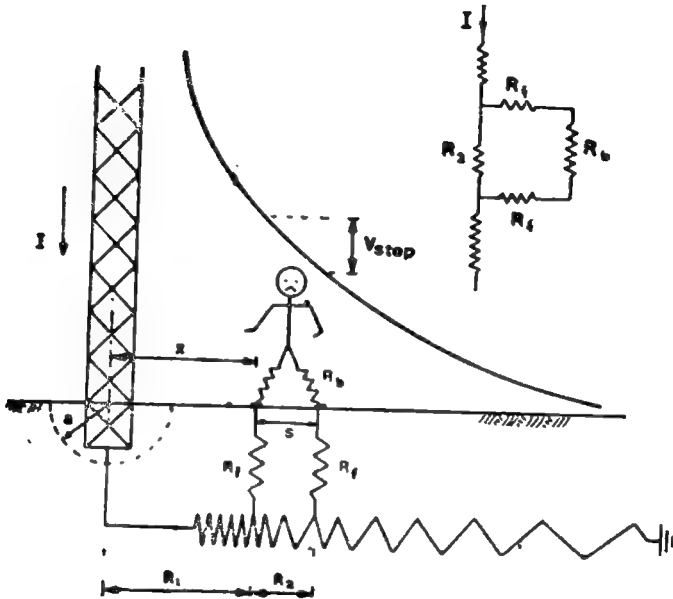
ولذلك إذا أردنا الفصل الفعلي بين الكترودى تآريض فيجب أن يبعدا عن بعضهما مسافة لا تقل عن 20 متر. أما إذا قلنا عن ذلك فيحدث تداخل لمساحتي المقاومة . ومعنى ذلك هو ظهور مقاومة متبادلة بين نقطتي التآريض (شكل 3 - 12a) . ويمكن توضيح ذلك بالرجوع الى الشكل 3 - 12b ؛ فعند حدوث قصر بين أحد الاوجه وجسم المحول يرتفع جهد النقطة E الى مقدار يتوقف على قيمة المقاومة للأرض عند E وعلى حجم تيار القصر، فى حين يرتفع جهد النقطة S (وبالتالي جهد الجسم المؤرض عن طريق S) الى قدر تحدده قيمة المقاومة المتبادلة بين النقطتين S و E ؛ وتزداد هذه المقاومة كلما تقاربت النقطتان .

الباب الرابع

جهد الخطوة وجهد اللمس

1.4 جهد الخطوة

لقد ذكرنا في الفقرة 4.1 أننا سوف نعتبر أن مقاومة جسم الانسان بين الاطراف هي 1000 أوم . فلنفرض أن شخصا على بعد x متر من الكترود الارض يخطو خطوة طولها s متر في نفس لحظة مرور تيار I الى الارض . فاذا كان نصف قطر الكترود النصف كروي المكافئ لالكترود التأريض هو a متر ، فان المقاومة R_2 (شكل 1-4) المحصورة بين النقطتين التي تمثلان مكان قدمي الرجل هي ،



شكل 1-4 . جهد الخطوة

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+s} \right)$$

وغرق الجهد بين هاتين النقطتين يمثل «جهد الخطوة» ، وهو

$$V_s = I R_2 = \frac{I \rho}{2\pi} \cdot \frac{s}{x(x+s)}$$

ومن الواضح أن القيمة العظمى لهذا الجهد هي عند $x = a$. وإذا فرضنا أن طول الخطوة s هو متر واحد ، فاقصى قيمة لجهد الخطوة هي

$$V_s (max) = \frac{I \rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{a(a+1)}$$

وإذا فرضنا أن مقاومة الجسم هي R_b وأن المقاومة بين كل قدم والارض هي R_f ، فإن التيار المار في الجسم هو

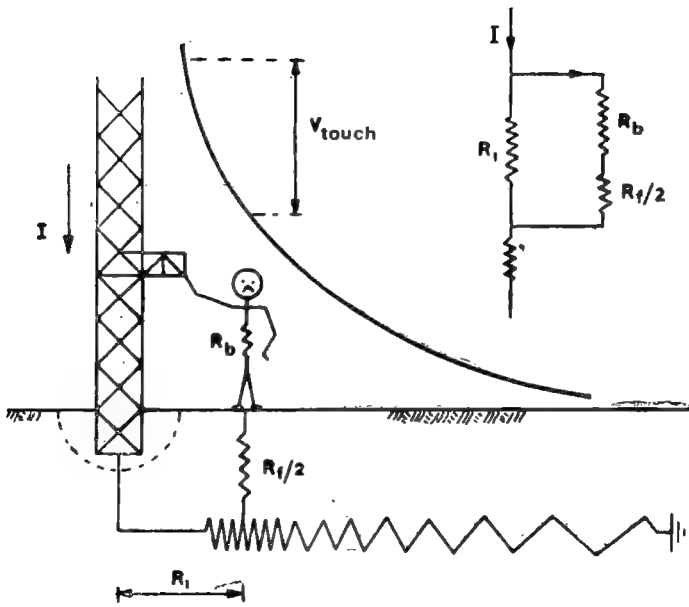
$$I_b = V_s / (R_b + 2 R_f)$$

وحيث أن التيار المار في جسم الانسان يجب الا يزيد عن $0.116/\sqrt{t}$ (انظر الفقرة 3.1) ، فإن جهد الخطوة المأمون ، وهو أقصى جهد خطوة مسموح به ، هو

$$\begin{aligned} (1-4) \quad V_s(max) &= I_b(R_b + 2 R_f) \\ &= (1000 + 2 R_f) 0.116/\sqrt{t} \end{aligned}$$

2.4 جهد اللمس

إذا لمس أى شخص جسما معدنيا متصلا مباشرة بالارض في نفس لحظة مرور تيار قصر للارض ، فإن حجم التيار الذى يمر بين يده وقدميه يحدد ما يسمى بـ «جهد اللمس» ، فإذا اعتبرنا أن الشخص على بعد متر واحد من الجسم الذى يلمسه ، فإن جهد اللمس الفعلى هو (شدة 4 - 2) ،



شكل 4 - 2 . جهد اللمس

$$V_t = I R_1 = I_b (R_b + \frac{1}{2} R_f)$$

حيث

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - 1 \right)$$

وبالتعويض بـ $I_b = 0.116/\sqrt{t}$ و $R_b = 1000$ أوم نجد أن جهد اللمس المأمون وهو أقصى جهد لمس مسموح به ، هو

$$(2-4) \quad V_t (max) = (1000 + \frac{1}{2} R_f) 0.116/\sqrt{t}$$

ويتضح من المعادلتين (1-4) ، (2-4) أن قيمة المقاومة بين القدم والارض R_f تؤثر تأثيرا كبيرا على القيمة المسموح بها لكل من جهد الخطوة وجهد اللمس . ومن الناحية العملية يمكن اعتبار أن القدم مكافئ لالكتروود

دائرى نصف قطره حوالى 8 سم ؛ والمقاومة للارض لهذا الالكترود هى (من المعادلة 3-5 عندما $h = 0$) ،

$$R_f = \frac{\rho_s}{4a} = \frac{\rho_s}{4 \times 0.8} \simeq 3 \rho_s$$

حيث تمثل ρ_s مقاومة التربة القريبة من سطح الارض . وبالتعويض عن هذه القيمة لـ R_f فى المعادلتين (4-1) ، (4-2) نجد أن :

أقصى جهد خطوة مسموح به هو

$$(3-4) \quad V_s(max) = (116 + 0.7 \rho_s) / \sqrt{t}$$

وأقصى جهد لمس مسموح به هو

$$(4-4) \quad V_t(max) = (116 + 0.17 \rho_s) / \sqrt{t}$$

نرى من المعادلتين السابقتين أن لاي قيمة محددة لزمن دوام التيار ، كلما زادت قيمة المقاومة السطحية للارض كلما ازدادت قيمة جهد الخطوة وجهد للمس المسموح بهما . ويمكن زيادة قيمة المقاومة السطحية عن طريق تغطية السطح بطبقة من الصخر المهصر (*crushed*) ، يتراوح سمكها بين 10 و 15 سم .

وإذا أهملنا المقاومة بين القدم والارض وافترضنا أن $t = 3$ ث ، نجد أن الحد الاقصى لجهد الخطوة أو للمس هو 67 فولت .

الفصل الخامس

نظام التأسيس

1.5 قيمة المقاومة للارض

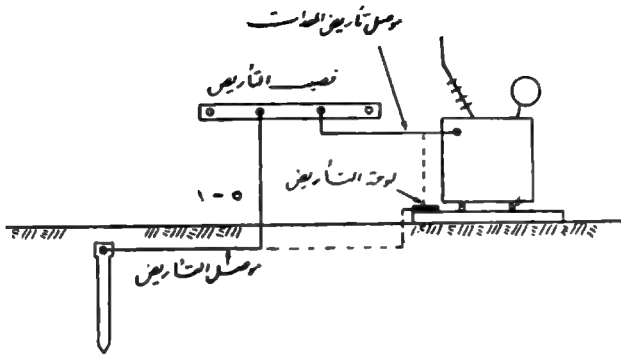
ان القيمة المثالية للمقاومة للارض هي صفر ولا يمكن التوصل اليها عمليا . ولكن يمكن التوصل الى قيم أصغر من أوم واحد . الا ان هذه القيم المنخفضة ليست ضرورية في كثير من الحالات . فمن وجه عام فان قيمة المقاومة اللازمة تتناسب عكسيا وحجم نيار القصر للارض ، فكلما كبر هذا التيار وجب أن تصغر المقاومة . وحيث أن مفاعلة الكابلات أصغر من مفاعلة الخطوط الهوائية نجد أن تيارات القصر أكبر في الكابلات عنها في الخطوط الهوائية . ولذلك يجب أن تكون المقاومة للارض أصغر للمنشآت المغذاة مباشرة عن طريق الكابلات عن المنشآت المغذاة مباشرة عن طريق خط هوائى .

بالنسبة لمحطات التوليد ومحطات التحويل الكبيرة يجب الا تزيد قيمة المقاومة للارض عن أوم واحد . أما بالنسبة لمحطات التحويل الصغيرة والمنشآت الصناعية فيستحسن أن تكون المقاومة أقل من 5 أوم .

وجدير بالذكر أنه يرد في كثير من المواصفات القياسية للدول المختلفة القيم القصوى المسموح بها للمقاومة للارض . فمثلا تشترط المواصفات القياسية الامريكية (National Electrical Safety Code, 1977) ألا تزيد قيمة المقاومة عن 25 أوم في حين أن المواصفات القياسية الالمانية (VDE 0100) تشترط ألا تزيد المقاومة عن 5 أوم .

2.5 مكونات نظام التأسيس

يتكون أى نظام تأسيس بصفة عامة من العناصر الآتية (شكل 5 - 1) :



شكل 5 - 1. مكونات نظام التأريض

1 - مساحة أرض تكون مناسبة من حيث مقاومة التربة وإمكانية وضع الكترودات التأريض .

2 - الكترودات التأريض .

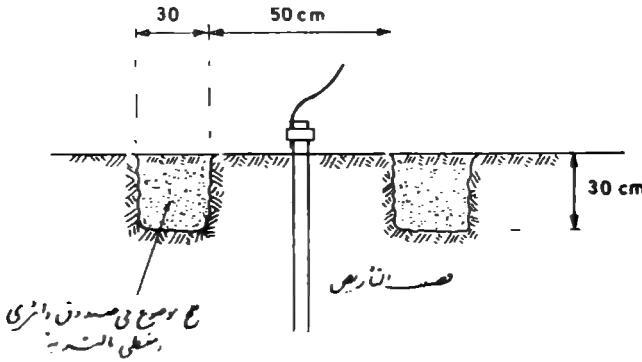
3 - موصلات التأريض (*grounding conductors*) وهى الموصلات التى تستخدم كتوصيلات بين الكترودات وبعضها وبين الكترودات والتجهيزات الخاصة بتوصيلة الأرض أو مباشرة بالمعدات أو التجهيزات المراد تأريضها .

4 - تجهيزات خاصة بتوصيلة الأرض (*ground connection provisions*). بالنسبة للمنشآت الصغيرة يمكن مد موصلات التأريض مباشرة بين الكترودات التأريض والمعدات المراد تأريضها . أما بالنسبة للمنشآت الكبيرة فيفضل تأمين تجهيزات خاصة تحتوى على نهايات مناسبة لموصلات التأريض ولتوصيلات تأريض المعدات . ويجب إقامة هذه التجهيزات على الجدران الانشائية أو على الاساسات فى أماكن يسهل الوصول إليها .

5 - توصيلات تأريض المعدات (*equipment grounding connections*) وهى عبارة عن التوصيلات بين المعدات المراد تأريضها وتجهيزات التوصيل الخاصة المشار إليها أعلاه .

1.2.5 مساحة الارض

يجب أن تكون الأرض مناسبة من حيث مقاومة التربة وإمكانية وضع الكترودات التآريضة . وإذا كانت مقاومة التربة عالية والمساحة محدودة ودق الالكترودات إلى أعماق كبيرة غير ممكن لوجود طبقات سفلية صخرية ، ففي هذه الحالة يمكن علاج التربة المحيطة بالالكترودات كيميائيا لتقليل مقاومة التربة . ويتم ذلك باستخدام اما ملح كبريتات المغنسيوم أو ملح كلوريد الصوديوم (الملح العادي) . ورغم أن كبريتات المغنسيوم أفضل من حيث التحات الكيميائي إلا أن كلوريد الصوديوم أرخص بكثير ويفى بالغرض جيدا اذا وضع في خندق يحيط بالالكترود كما هو مبين في الشكل 5 - 2 .



شكل 5 - 2

ومن الواضح أن هذه الطريقة لتقليل مقاومة الأرض هي طريقة مؤقتة نظرا لاختفاء الملح تدريجيا بسبب سقوط الامطار والصرف الطبيعي . ولذلك يجب تجديد شحنة الملح كل عامين أو أكثر ، على حسب كمية المطر ومسامية الأرض . وإذا كان عنصر المتابعة والصيانة غير متوفر ، فيفضل عدم استخدام هذه الطريقة مهما كانت اقتصادية .

2.2.5 الكترودات التآريضة

بما أن نوع معدن الالكترود لا يؤثر على مقاومته للأرض ، فإن اختيار المعدن

يعتمد كلية على مدى مقاومته للتآكل فى نوع التربة التى سيوضع فيها • ولقد أثبتت التجربة العملية الطويلة والتجارب العملية أن النحاس هو أفضل المعادن التى يمكن استخدامها فى التأريض • وبما أن الالكترود الأكثر استخداما للتأريض هو القضيب المدقوق *driven rod* فان أنسب نوع من هذه القضبان هو المصنوع من الصلب المغلف بالنحاس * *copper - clad steel* حيث يؤمن الصلب المتانة الميكانيكية التى تسمح بدق القضيب الى أعماق كبيرة بدون تلف، فى حين أن الغلاف النحاسى يحمى القضيب من التآكل والحت الالكتروليتى ويسمح باستخدام وصلة نحاس / نحاس بينه وبين موصل التأريض • ويجوز أيضا استخدام قضبان من الصلب الطرى المجلفن حيث أثبتت التجارب مقاومته العالية للتآكل •

ونظرا لحقيقة القول أنه ليس هناك أى جزء من التركيبات الكهربائية أكثر اهمالا أو نسيانا عن الجزء الخاص بنظام التأريض ، فذلك يجب تصميم وتنفيذ هذا الجزء بدقة وعناية كبيرة وباستخدام أجود المواد وأطولها عمرا؛ فمن الافضل اذا أن تكون الالكترودات اما من النحاس أو من الصلب المغلف بالنحاس الا فى بعض الحالات الخاصة التى يجب فيها الاخذ فى الاعتبار امكانية حدوث تلف للكابلات أو المواسير أو الانشاءات المعدنية التى قد تتواجد بجوار الالكترود وذلك نتيجة للحت الالكتروليتى (انظر الفقرة 5.5)

وحيث أن المقاومة للأرض بالنسبة لقضيب التأريض تعتمد على طول القضيب فقد اتفق أن يكون هذا الطول مساويا أو مضاعفا لطول قياسى محدد • وهذا الطول القياسى هو 8 قدم (2.4 متر) فى نظام القياس البريطانى و 3 متر فى نظام القياس المترى • ولدق الالكترود الى أعماق كبيرة يتم وصل طولين قياسيين أو أكثر باستخدام قارئة (*coupling*) خاصة لذلك • أما قطر القضيب فيحدد بالصلابة

* الاسم التجارى هو *copperweld*

الميكانيكية اللازمة لدقه فى الأرض • وعلى أى حال يفضل ألا يقل قطر القضيب عن $\frac{1}{2}$ بوصة والمقاس الأكثر استخداما هو $\frac{5}{8}$ بوصة (16 مم) •

وأنسب طريقة لدق القضبان فى الأرض هى باستخدام مطرقة آلية وخاصة إذا كان عدد القضبان كبيرا أو التربة غير رملية أو طول القضيب أكثر من ثلاثة أمتار • أما إذا كان عدد القضبان قليلا والتربة رملية وطول القضيب لا يزيد عن ثلاثة أمتار فيمكن استخدام مرزبة يدوية •

ونجد فى أغلب الاحيان أنه يجب دق أكثر من قضيب واحد للحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة للأرض • ومن المفضل فى هذه الحالات ألا تقل المسافة بين الالكترودات عن 3 متر • وفى محطات المحولات الصغيرة تدق أربع قضبان تأريض أو أكثر على شكل مربع أو مستطيل حول حافة المنشآت ، ويفضل إذا أمكن تنفيذ ذلك عند قاع حفريات المنشآت •

3.2.5 موصلات التأريض وتوصيلات تأريض المعدات

فى أغلب الاحيان تتألف موصلات التأريض من كابلات مدفونة فى الأرض • ويفضل أن تكون الكابلات من النحاس نظرا لمقاومته الكبيرة للتحلات أو التآكل الكيميائى • وإذا كان الكابل عاريا فمن الجائز أن يتسبب فى تآكل معادن أخرى مدفونة فى الأرض (انظر الفقرة 5.5) • ولكن إذا كان الكابل قصيرا أو مدفونا بقرب سطح الأرض وفى تربة جافة ولها مقاومة عالية ، يمكن إهمال التحلات • أما إذا كان الكابل طويلا وبالاخص إذا كان مدفونا فى أرض رطبة لها مقاومة صغيرة ، فيستحسن فى هذه الحالات استخدام كابل من النحاس عليه طبقة صامدة للماء •

ولا يجوز فى أى حال من الاحوال استخدام موصلات من الألومنيوم أو أى معدن آخر له أنودية مرتفعة وبالتالي قابلية كبيرة للتحلات الكيميائى • وفى المنشآت التى فيها أربعة قضبان تأريض أو أكثر ، يجب توصيل كل قضيب

بالآخر فى دائرة مقفلة بواسطة موصلات التأريض ثم توصيل هذه الدائرة بالتجهيزات الخاصة بتوصيله الارض وذلك عن طريق موصلين أو أكثر على التوازي .

أما بالنسبة لتوصيلات تأريض المعدات ، فهي تكون عادة فوق سطح الارض ويمكن استخدام اما كابلات عارية أو قضبان من النحاس . وإذا كانت هذه التوصيلات معرضة للغمر فى الماء (نتيجة فيضانات أو سيول الخ...) فيجب استخدام كابلات عليها طبقة صامدة للماء .

4.2.5 التجهيزات الخاصة بتوصيلة الارض

تتألف هذه التجهيزات أساسا من ألواح أو من قضبان خاصة بالتأريض ، وتستخدم الألواح فى المنشآت الخرسانية الجديدة (أساسات المعدات، السرايب، الارصفة الممتدة فى البحر الخ...) وتوضع الألواح فى أماكن مناسبة من الجسم الخرسانى وبحيث يكون الوجه المسطح للوح متساطحا مع سطح الخرسانة . ويتم توصيل موصلات التأريض بالألواح بواسطة قوامط خاصة يثبت فيها موصل التأريض بمسامير أو باللحام .

وفى حالة المنشآت القائمة أو اذا كان تركيب الألواح غير عملى ، فيمكن استخدام قضبان خاصة بالتأريض . وتثبت هذه القضبان على أسطح الجدران (أو جوانب الخنادق) فى أماكن مناسبة لعمل التوصيلات المستديمة أو المؤقتة . ولا يجوز تثبيت القضبان النحاسية بأى أجزاء حديدية . ويجب ألا يزيد قطر ثقب التثبيت فى القضيب نفسه عن ربع عرض القضيب . وبالنسبة لمحطات التوزيع التى لا يزيد عندها تيار القصر عن 22 كيلو أمبير ، تستخدم عادة قضبان لا يقل مقطعها عن 125 مم² (25 × 5 مم) . ويتم توصيل القضبان بموصلات التأريض أو توصيلات تأريض المعدات اما ميكانيكيا أو باللحام .

وفى المنشآت التى يحتوى هيكلها على قضبان زاوية (أو مجرى) تثبت أو تتركب عليها المصهرات ومفاتيح الفصل وحوامل الكابلات ، يمكن استخدام هذه

القضبان لتأريض أجسام هذه المعدات بشرط أن تكون القضبان نفسها مؤرضة تأريضا جيدا • ويمكن استخدامها أيضا لتأريض أى أجهزة ثانوية عارضة وغير مركبة على القضبان • أما بالنسبة للأجهزة الرئيسية مثل المحولات والقواطع ، فيجب تأريضها عن طريق التجهيزات الخاصة حتى ولو كانت تلك الاجهزة مركبة على قضبان مؤرضة •

وجدير بالذكر أنه يرد فى كثير من المواصفات القياسية للـدول المختلفة اشتراطات بعدم السماح لمرور تيار كهربي الا فى مساراته المحددة بالدوائر الكهربائية •

3.5 الوصل فى نظام التأريض

هناك ثلاث طرق لاتمام التوصيل بين الكترودات التأريض وموصلات التأريض أو بين هذه الموصلات والتجهيزات الخاصة بتوصيلة الارض :

1 - توصيل ميكانيكى باستخدام قواطع مربوطة بمسامير • ويجب فى هذه الحالة أن تكون القواطع والمسامير من نفس معدن الالكترودات والموصلات، ويجب أن تكون الوصل محمية ضد حدوث أى عطب عرضى ومصممة بحيث تكون قابلة للتفتيش •

2 - توصيل عن طريق اللحام • وهناك عدة طرق للحام مثل لحام النحاس (*brazing*) أو لحام الفضة (*silver soldering*) أو لحام الثرميت (*Thermit*) لكن لا يجوز فى أى حال من الاحوال استخدام لحام القصدير (*soldering*) . وجميع أنواع اللحامات ولاسيما لحام الثرميت ، تحتاج الى خبرة ومهارة •

ومن مميزات اللحام امكانية استخدام موصلات تأريض أصغر حجما حيث أن درجة الحرارة المسموح بها فى حالة النحاس هى $450^{\circ}C$ للوصل الملحومة بدلا من $250^{\circ}C$ للوصل الميكانيكية •

3 - توصيل عن طريق الكبس وذلك باستخدام جلبة خاصة من النحاس أو النحاس السبائكي يتم كبسها على قضيب التأريض وموصل التأريض فى نفس الوقت وذلك بواسطة مكبس هيدروليكي خاص • وهذه الطريقة هى أحدث الطرق وأكثرها اقتصادا ولها كل مميزات لحام الثرميت •

وأيا كانت الطريقة المستخدمة فيجب قبل عمل الوصل التأكد من نظافة الاسطح وخلوها تماما من الشحم أو الدهان أو أى طبقة عازلة •

4.5 عدد قضبان التأريض ومقاس توصيلات التأريض

ان العدد اللازم من قضبان التأريض للحصول على أقصى قيمة مسموح بها لمقاومة الارض يعتمد أساسا على مقاومة التربة • ومن الناحية العملية يتم وضع اما العدد التقديرى من القضبان اللازم للحصول على المقاومة المرغوب فيها أو أدنى عدد من القضبان اللازم لتحمل تيار القصر • وتقاس بعد ذلك المقاومة للارض وتوضع قضبان اضافية اذا احتاج الامر لذلك •

وعند اختيار مقاسات الموصلات يجب الاخذ فى الاعتبار العوامل الآتية :

1 - عدم انصهار الموصل وعدم تدحور الوصل الكهربائية تحت أسوأ الظروف من حيث حجم تيار القصر وزمن دوام هذا التيار •

2 - المتانة الميكانيكية •

3 - صغر المقاومة الكهربائية بحيث لا يتسبب مرور تيار القصر فى ظهور فروقات خطرة فى الجهد •

ويمكن حساب مقطع موصلات التأريض من المعادلة الآتية :

$$A = \frac{I\sqrt{t}}{C} \quad (1-5)$$

حيث $A =$ أصغر مقطع مسموح به (مم^2)

$I =$ تيار القصر (أمبير)

$t =$ زمن دوام التيار (ثانية) وهو الزمن بين حدوث القصر وبين
إزالته عن طريق أجهزة الوقاية (المرحلات والقواطع) .

$C =$ ثابت . وتعتمد قيمته على مادة الموصل وأقصى درجة حرارة
مسموح بها .

$= 166$ للنحاس عند درجة حرارة 250°C اذا كانت الوصل
مربوطة بمسامير

$= 200$ “ “ “ “ اذا كانت الوصل
ملحومة بالنحاس

$= 285$ “ “ “ “ 1083°C بدون أى وصل

ويبين الجدول 5 - 1 أدنى مقطع لكل أمبير من تيار القصر للموصلات النحاسية

جدول 5 - 1 مقطع موصلات التأسيس النحاسية لكل أمبير من تيار القصر

المقطع لكل أمبير من تيار القصر [مم ²]	زمن دوام تيار القصر [ثانية]		
	موصل به وصل مربوطة بمسامير	موصل به وصل ملحومة بالنحاس	موصل بدون وصل
2.5×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.2×10^{-3}	0.5
3.5×10^{-3}	5×10^{-3}	6×10^{-3}	1
7×10^{-3}	10×10^{-3}	12×10^{-3}	4

ويبين الجدول 5 - 2 أقل عدد من الكترودات التأسيس على شكل قضبان
قياسية (16 مم قطر و 3 م طول) التى يجب وضعها والحد الأدنى لمقاسات
الموصلات التى يجب استخدامها فى نظام التأسيس ، وذلك فى حالة المنشآت
التى بها محولات وفى حالة المنشآت التى ليس بها محولات .

جدول 2-5 عدد قضبان التأريض ومقاس الموصلات في نظام التأريض

الحد الأدنى لمقاس الموصلات في نظام التأريض (مم ²)		أقل عدد من قضبان التأريض		التيار المقتن بالنسبة للجهود المنخفضة لحول أو لمجموعة محولات (أمبير)
توصيلات تأريض المعدات	موصلات التأريض المدفونة	موصلات التأريض المدفونة	أقل عدد من قضبان التأريض	
16	16	16	1	حتى 200
25	2 — 16	25	1	400 — 201
70	2 — 25	70	2	800 — 401
120	2 — 70	120	4	1600 — 801
120	3 — 50		6	2400 — 1620
				مقاس موصل القوى (مم ²)
16	16	1	1	أقل من 35
25	2 — 16	1	2	95 — 50
70	2 — 25	2	4	240 — 120
120	2 — 70	4	8	أكبر من 240

5.5 التآكل أو التآكل الكيميائي (Corrosion)

إذا تواجد معدنين مختلفين ومنفصلين في وسط رطب ، أو تواجدت وصلة من هذين المعدنين في مكان رطب ، نجد أن مع مرور الوقت يحدث تآكلا لاحدى المعدنين . والسبب في ذلك هو الفعل الالكتروليتي الذي يؤدي الى تآكل المعدن الاكثر أنودية . ويبين الجدول 3 - 5 الترتيب الجلفاني لعدد من المعادن ؛ ويعتبر معدنا أكثر أنودية من معدن آخر إذا كان يسبقه في الترتيب ، فمثلا الصلب المجلفن أكثر أنودية من النحاس (فرق الجهد بينهما هو 0.8 فولت) ولكن النحاس أكثر أنودية من الذهب (فرق الجهد بينهما هو 0.4 فولت) . وإذا تواجدت ماسورة من الصلب المجلفن مدفونة بجوار الكترود (أو أكثر) تأريض من النحاس ، فإن ذلك يؤدي الى تآكل الماسورة ولا يصاب النحاس بأي ضرر وقد يتكون حوله طبقة من الاملاح نتيجة للفعل الالكتروليتي .

ويعتمد معدل التآكل الكيميائي على الفرق في الجهد الجلفاني بين المعدنين . ولأي معدنين فإن معدل تآكل المعدن الاكثر أنودية يتناسب طرديا ومساحة الكاثود وعكسيا ومساحة الانود .

جدول 3 - 5 الجهد الجلفاني للمعادن المختلفة

المعدن	الجهد الجلفاني
أنود	
المغنيزيوم وسبائكه	1.6 —
صلب مجلفن	1.05 —
حديد مجلفن	1.05 —
الومنيوم	0.75 —
حديد الزهر	0.7 —
ديورالومين	0.6 —

— 0.55	الرصاص
— 0.5	الصفیح (صاج مطلى بالقصدير)
— 0.5	صلب مطلى بالكروم (سمك 0.005 بوصة)
— 0.35	صلب الكروم 18/2
— 0.25	النحاس وسبائكه
— 0.2	لحام الفضة
— 0.15	صلب مطلى بالنيكل
0.0	الفضة والنحاس المطلى بالفضة
+ 0.10	الكربون
+ 0.15	الذهب
+ 0.15	البلاتين
	كاثود

إذا كانت وصل التأريض مكونة من معدنين مختلفين فيجب مراعاة النقاط التالية ،

- 1 — ألا يكون المعدن الأكثر أنودية هو جسم المعدات أو الانشآت • فمثلا إذا أردنا توصيل برج من الصلب المجلفن الى نظام تأريض من النحاس فيجب أن يتم ذلك بواسطة شريط صلب مجلفن بحيث يسهل تغييره فى حالة حدوث تحات بينه وبين النحاس •
- 2 — أن تكون الوصل فوق سطح الارض •
- 3 — أن تكون الوصل محمية من الرطوبة •
- 4 — أن تكون الوصل فى أماكن يسهل الوصول اليها لغرض التفتيش
- 5 — أن يتم التفتيش على الوصل مرة كل عام •

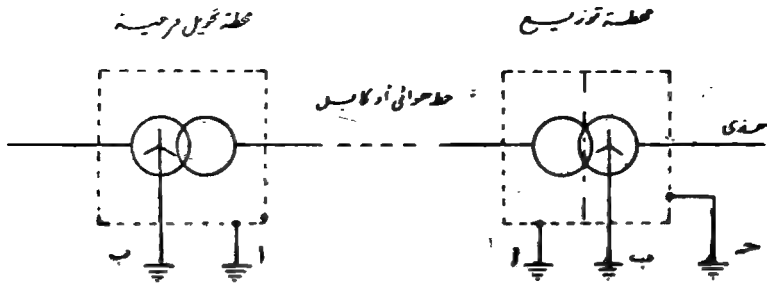
6.5 القواعد العامة لنظم التاريف عند محطات التحويل الفرعية

يبين الشكل 5 - 3 نظم التاريف المختلفة لشبكة مبسطة مكونة من محطة تحويل فرعية ومحطة توزيع تغذى شبكة جهد منخفض • وجدير بالذكر هنا أننا نعى بالجهد المنخفض الجهد الذى لا تزيد قيمته عن 1000 فولت • ونظم التاريف المختلفة هي الآتية :

(أ) تاريف وقائى للجهد العالى وهو نظام تاريف جميع الاجزاء المعدنية (هياكل المعدات وأغلفة كابلات القوى الخ) التابعة لشبكة الجهد المرتفع •

(ب) تاريف نقطة التعادل

(ج) تاريف وقائى للجهد المنخفض وهو نظام تاريف جميع الاجزاء المعدنية التابعة لشبكة الجهد المنخفض •



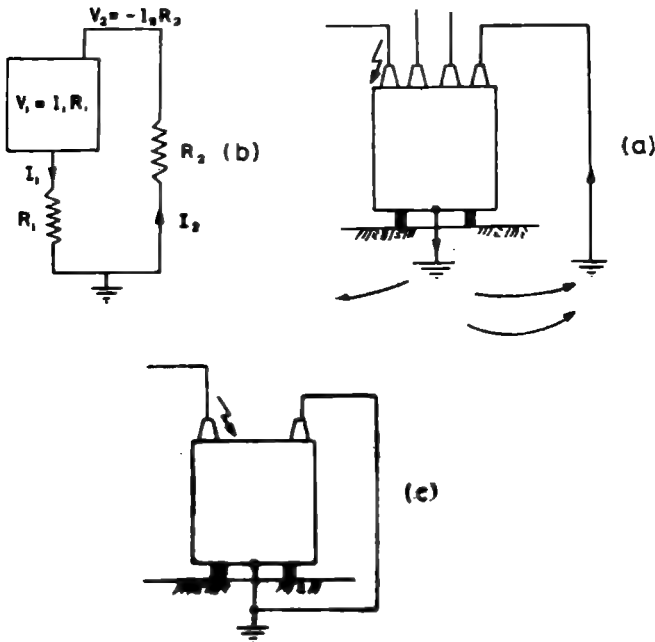
شكل 5 - 3

والسؤال هنا هو هل من الافضل أن يكون كل نظام للتاريف منفصلا عن الآخر أم من الافضل ان تكون هناك نقطة تاريف واحدة مشتركة ؟ ورغم أنه ليس هناك ردا قاطعا لهذا السؤال الا أن الخبرة الطويلة فى مختلف أنحاء العالم قد بينت أنه يجب الالتزام بالتوصيات الآتية :

• أولا : بالنسبة لمحطات التحويل الفرعية التى لا يخرج منها أى دوائر جهد منخفض •

يوصى باستخدام تأريض مشترك لنقطة التعادل وللتأريض الوقائي والسبب في ذلك هو الآتي :

إذا حدث خطأ داخل المحطة بين موصل وجسم معدنى مؤرض ففي حالة فصل نظامى التأريض (شكل 5 - 4a) يمر تيار القصر بأكمله عبر التأريض الوقائي ويمر جزء منه ، عن طريق الأرض ، فى الموصل المحايد * وفى هذه الحالة نرى أن جهد الاجزاء المعدنية المؤرضة سيرتفع بمقدار يساوى حاصل ضرب تيار القصر والمقاومة للأرض لالكتروود التأريض الوقائي أى $I_1 R_1$ ، فى حين أن جهد نقطة التعادل سيصبح $I_2 R_2$ — بدلا من صفر (شكل 5 - 4b) . ونرى أن فى هذه الحالة يجب :



شكل 5 - 4

أ) عزل موصل نقطة التعادل عن جميع الاجزاء المعدنية بحيث يتحمل العزل أقصى جهد يمكن أن يرتفع اليه هذا الموصل (ويتحدد هذا الجهد بحجم تيار القصر وحجم مقاومات التأريض) *

(ب) ضمان عدم امكانية لمس موصل التعادل وأى جزء معدنى فى نفس الوقت ،

وجدير بالذكر أن احتمال مرور تيارات كبيرة بين نقطتى الارض فى مساحة أرض محدودة محفوف ببعض المخاطر • أما فى حالة استخدام نقطة واحدة مشتركة للتأريض الوقائى ولتأريض نقطة التعادل (شكل 5 - 4 c) نجد أن الخطر الوحيد هو ارتفاع جهد الاجزاء المعدنية عند حدوث الخطأ • ولكن يمكن تجنب هذا الخطر باختيار نظام تأريض له مقاومة منخفضة للأرض وأجهزة وقاية سريعة العمل بحيث لا تتخطى قيمة جهد للمس الحد الاقصى المسموح به (انظر 2.4) •

الحائل الوقائى :

ان مسألة توصيل الحائل الوقائى المحيط بالمحطة بأرض منفصلة أو بأرض المحطة يعتمد أساسا على الخطر النسبى الذى قد يتعرض له أفراد أو حيوانات خارج الحائل عند لمسه ، وأفراد داخل الحائل من المحتمل أن يلمسوا فى آن واحد الحائل وأى أجهزة موصلة بأرض المحطة • وإذا كان هذا الاحتمال غير قائم أو يمكن تفاديه بطرق أخرى ، فيفضل أن يكون تأريض الحائل منفصلا عن تأريض المحطة •

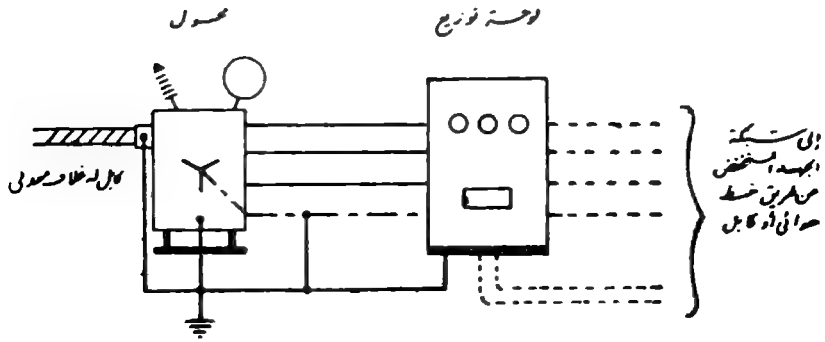
ثانيا : بالنسبة لمحطات التحويل التى تغذى شبكة جهد منخفض خارجية ولها موصل تعادل •

ان أغلب هذه المحطات هى محطات توزيع • وقرار فصل كل نظام تأريض عن الآخر أو استخدام تأريض واحد مشترك أو تأريزين مشتركين مع فصل الثالث ، يعتمد أساسا على ضمان عدم ارتفاع جهد الموصل المحايد عند حدوث خطأ للأرض عند جانب الضغط العالى الى قيمة تشكل خطرا على المنتفعين أو تتسبب فى اشعال حريق •

وبما انه يوجد أنواع مختلفة من هذه المحطات من حيث نوع التركيبات

والتوصيلات الخاصة بها ، فسوف نذكر فيما يلى القواعد المتبعة بالنسبة لجمع أو فصل التاريضات لهذه الانواع .

- 1 - اذا كانت موصلات التغذية الداخلة الى المحطة أو الخارجة منها على شكل كابلات لها غلاف معدنى (metal sheath) من الرصاص أو الالومنيوم عليه طبقة شبه موصلة (أو غير جيدة العزل) وطولها فى اتجاهين مختلفين 3 كيلو متر أو أكثر (وذلك لضمان مقاومة صغيرة للارض - فى حدود أوم واحد أو أقل) ، فيمكن استخدام نقطة تأريض واحدة مشتركة كما هو مبين فى الشكل 5 - 5 .



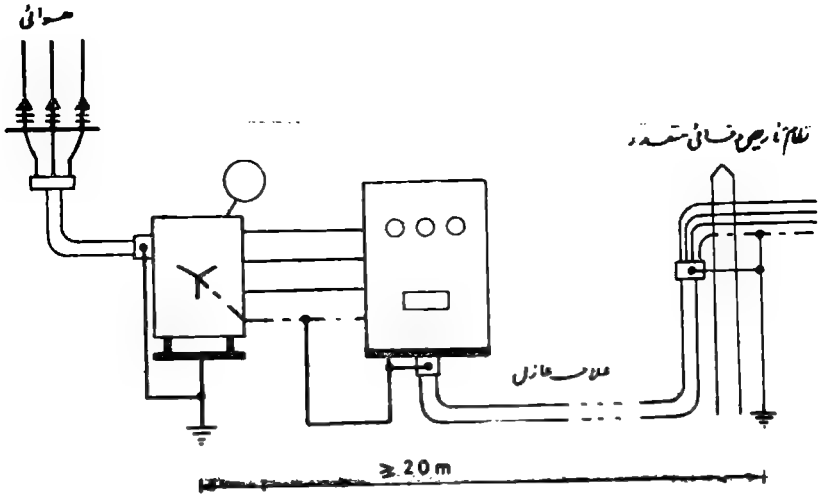
شكل 5 - 5

- 2 - اذا كانت المحطة مغذاة عن طريق خط هوائى والموزعات الخارجة منها هى كابلات لها غلاف خارجى عازل (ثرمو بلاستيك) ، فيمكن التفريق بين حالتين :

أ (اذا كان الكابل الخارج من المحطة يغذى شبكة مستوفية شروط التاريض الوقائى المتعدد (انظر الفقرة 3.7.5) ففي هذه الحالة يجب فصل التاريض الوقائى للجهد العالى عن التاريض الوقائى للجهد المنخفض بحيث يكون كل تاريض منهما خارج مساحة المقاومة للتاريض الآخر ، أى أن تكون المسافة بينهما 20 مترا أو أكثر (فقرة 6.3).

وفى هذه الحالة يتم توصيل التأريض الوقائى للجهد المنخفض بالموصل المحايد كما هو مبين فى الشكل 5 - 6 .

(ب) اذا كان من الصعب فصل التأريض الوقائى للجهد العالى عن التأريض الوقائى للجهد المنخفض ، وذلك فى الحالات التى يكون فيها هيكل المحطة من الصلب أو من الخرسانة المسلحة ، فيمكن استخدام نقطة تأريض وقائى مشتركة كما هو مبين فى الشكلين 5 - 7 و 5 - 8 . ويجب التأكد من أن العزل لجميع موصلات الجهد المنخفض داخل مساحة المقاومة كافيا لتحمل الارتفاع فى جهد الاجزاء المعدنية عند حدوث خطأ للأرض من ناحية الجهد العالى .



شكل 5 - 6

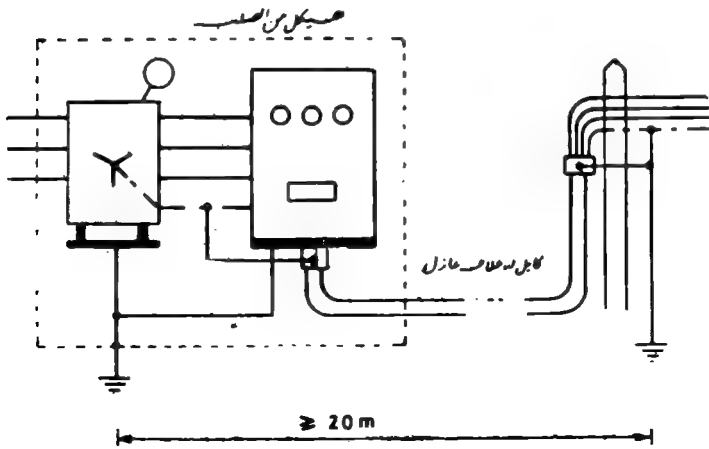
7.5 الاجراءات الوقائية بالنسبة للمستهلك

لحماية المستهلك من الصدمة الكهربائية فى حالة حدوث خطأ بين موصل حى وبين أى جسم معدنى معرض للمس ، يجب تحقيق المتطلبات الاساسية الآتية :

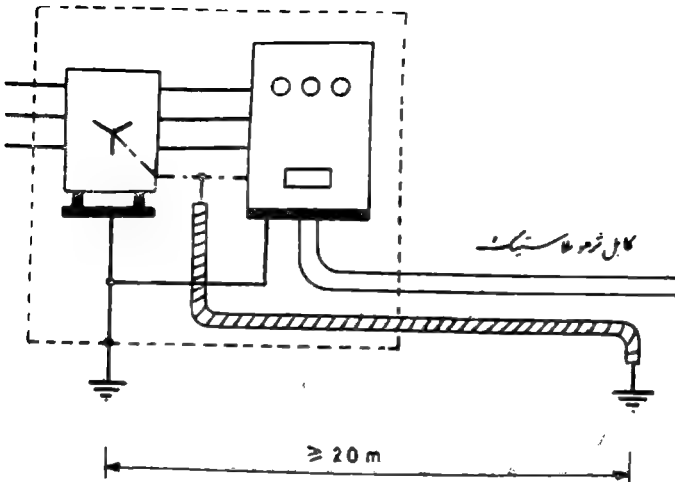
أولا : ضمان وجود دائرة مغلقة يمر بها تيار القصر . ويجب أن تكون

مقاومة هذه الدائرة صغيرة بحيث يكون حجم تيار القصر كافيا لتشغيل أجهزة الوقاية عند المستهلك ، مثل المصهرات أو القواطع .

ثانيا : ضمان عدم ارتفاع جهد الاجسام المعدنية المعرضة للمس (هياكل الاجهزة مثلا) الى قيمة قد تشكل خطرا على الاشخاص .



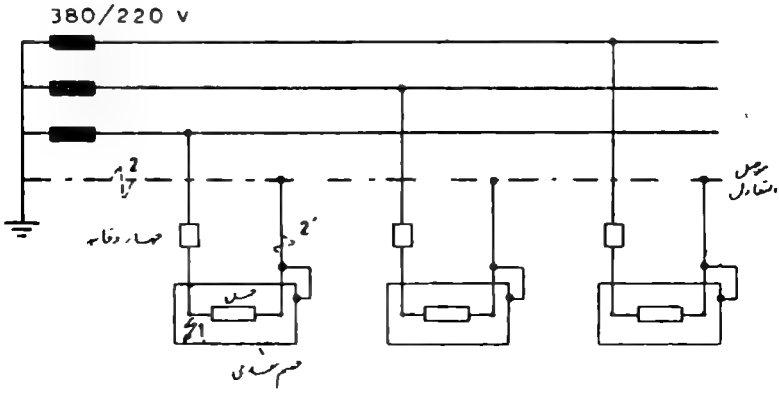
شكل 7-5



شكل 8-5

يبين الشكل 5-9 احمال مغذاة من شبكة توزيع لها موصل تعادل مؤرض

عند المحول • ففي حالة حدوث قصر بين موصل حى والجسم المعدنى (1 فى الشكل) يقوم موصل التعادل بتأمين خط عودة لتيار القصر ، وبذلك يكون المتطلب الاول مستوفيا • أما فى حالة حدوث قطع فى موصل التعادل عند النقطة 2 أو 2' ، ففي هذه الحالة يرتفع جهد الجسم المعدنى الى جهد الموصل الحى عند توصيل الحمل ، وهذا يشكل خطرا كبيرا على المنفع • من الواضح اذا أن مثل هذه التوصيلات لا تحقق المتطلبات الاساسية السالفة الذكر لضمان أمانة المستهلك ولذلك فلا يجوز استخدامها •



شكل 5 - 9

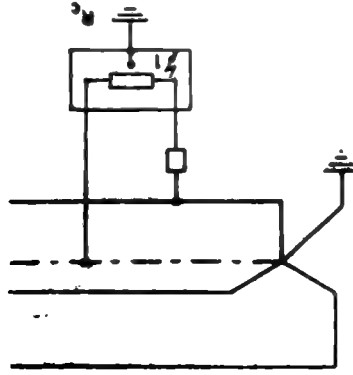
وهناك ثلاثة نظم تفى بمتطلبات الامن :

- 1 — نظام التأريض المباشر (direct earthing)
- 2 — نظام استخدام موصل وقائى مستقل
(separate neutral and protective conductor)
- 3 — نظام التأريض الوقائى المتعدد
(Protective Multiple Earthing - PME)

وسنصف فيما يلى كل نظام على حدة •

1.7.5 نظام التأريض المباشر

فى هذه الطريقة يجب انشاء نقطة تأريض خاصة بكل مستهلك أو مجموعة من المستهلكين (شكل 5 - 10) وفى حالة حدوث قصر بين موصل حى وأى جزء معدنى (1 فى الشكل)، تقوم الارض بمقام موصل العودة لتيار القصر . ويجب ألا تزيد قيمة المقاومة R_e لالكترود التأريض عن ،



شكل 5 - 10

$$(2 - 5) \quad R_e \leq \frac{V_f}{k I_N}$$

حيث

V_f = جهد اللمس المسموح به . وبما أن القواطع السريعة ليست متوفرة فى أغلب الاحيان بالنسبة لصغار المستهلكين ، فان اللجان الدولية للتقنين فى صدد تحديد 50 فولت كأقصى قيمة يسمح بها لجهد اللمس .

$$I_N = \text{التيار المقتن لجهاز الوقاية (مصهر أو قاطع)}$$

$$k = \text{عامل يعتمد على نوع جهاز الوقاية المستخدم}$$

$$= 3 \text{ فى حالة المصهرات}$$

= 1.5 فى حالة قواطع تجاوز الحمل *

وإذا فرضنا أن

$$I_N = 50 \text{ أمبير} ، k = 3 ، V_r = 50 \text{ فولت}$$

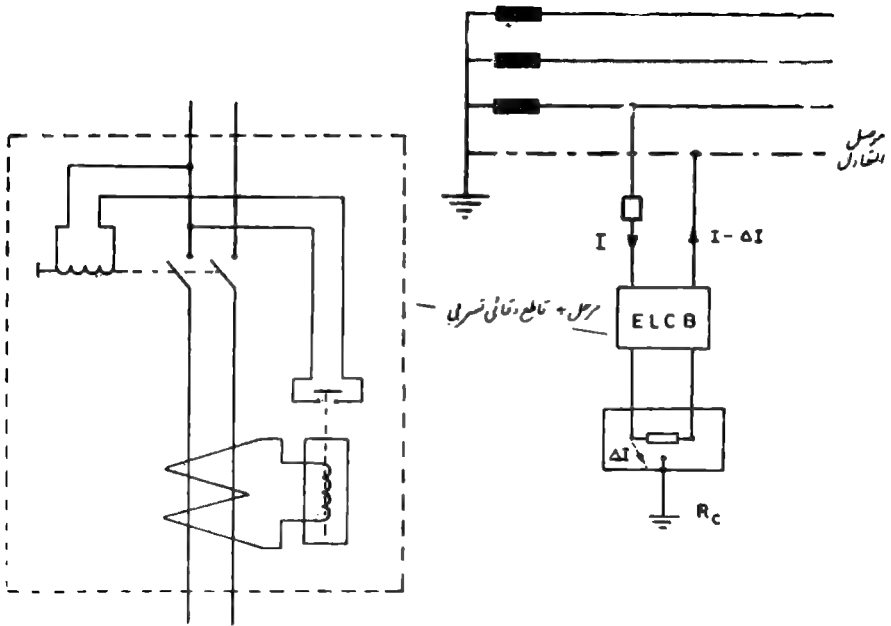
نجد أن

$$R_c \geq 1/3 \text{ أوم}$$

وحيث أنه من الصعب جدا التوصل الى مثل هذه القيم الصغيرة للمقاومة بدون تكاليف باهظة لنظام التأسيس ، فإن هذا النوع من التأسيس غير اقتصادى الا فى حالة استخدام قواطع خاصة
(*current - operated earth leakage circuit breakers*)

حساسة لتيار التسرب للارض (شكل 5 - 11) وحيث أن تيار التسرب المقدّر لتشغيل هذه القواطع هو 0.5 (أو 0.03) أمبير ، فيمكن فى هذه الحالة أن ترتفع قيمة مقاومة التأسيس R_c المسموح بها الى 100 (أو 1670) أوم * ونظرا للحساسية الكبيرة لهذه القواطع لاى تيسار تسرب ، يمكن استخدامها كوقاية ضد احتمال نشوب حريق فى حالة حدوث أى خطأ للارض حيث أن الطاقة الحرارية المولدة عند نقطة الخطأ (نتيجة لمرور تيار أصغر من حساسية القاطع) لا تكفى لاشعال حريق * وجدير بالذكر أن هذه القواطع تحتاج صيانة دورية ، وفى أغلب الاحيان تحتوى وحدة القاطع والمرحل على دائرة خاصة لاختبار سلامة تشغيل الجهاز *

* جدير بالذكر أن هذه القيم لـ k هى قيم نموذجية ويجب مراجعة المواصفات القياسية للدول المختلفة لتحديد قيمة k المثلى بالنسبة لنوع جهاز الوقاية المستخدم *



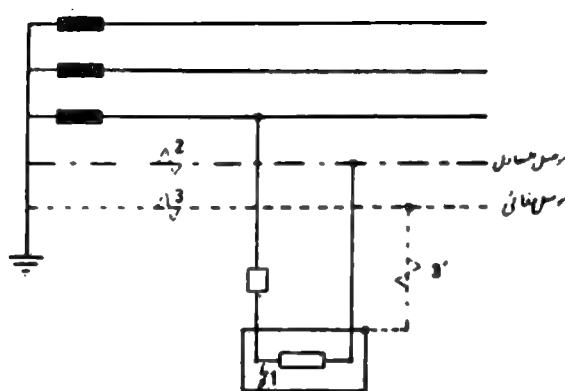
شكل 5 - 11

2. 7. 5 نظام استخدام موصل وقائي مستقل

يتكون هذا النظام من خمسة موصلات بدلا من أربعة ، كما هو مبين في الشكل 5 - 12 ويعرف الموصل الخامس بالموصل الوقائي .

وتوصل جميع الاجزاء المعدنية للاجهزة بالموصل الوقائي . ويقوم هذا الموصل بوظيفة موصل العودة لتيار القصر في حالة حدوث خطأ للأرض بين موصل حى والجسم المعدنى (نقطة 1 فى الشكل) ، فيعود تيار القصر الى المنبع عن طريق هذا الموصل بدلا من أن يعود عن طريق موصل التعادل فى النظام المبين فى الشكل 5 - 9 أو عن طريق الارض فى النظام المبين فى الشكل 5-10.

وفى هذا النظام نجد أن الخطر الوحيد على المستهلك ينشأ عند حدوث خطأ مزدوج عند النقطة 1 وقطع فى الموصل الوقائي عند 3 أو 3'.



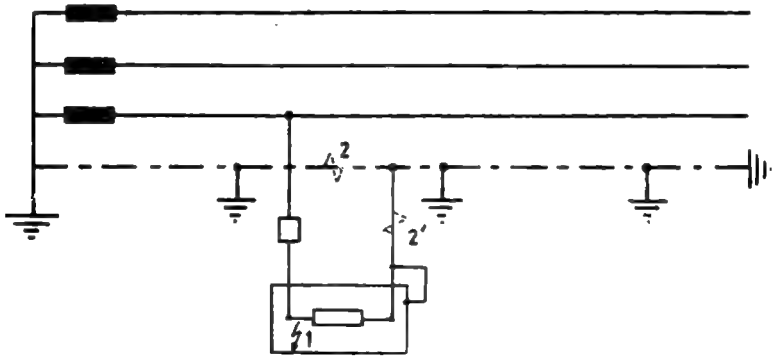
شكل 5 - 12

وفى الكابلات المدرعة التى لها غلاف معدنى (الكابلات المعزولة بالورق) يمكن استخدام الغلاف (وهو من الرصاص) والدرع معا كموصل وقائى ولكن فى هذه الحالة يجب التأكد من أن جميع الوصل يمكنها أن تتحمل التيار المار فى الغلاف. وفى حالة استخدام صناديق توصيل غير معدنية يجب ضمان الاستمرارية الكهربائية للغلاف باستخدام وصلة تخطى لا تزيد مقاومتها عن مقاومة طول الغلاف المقطوع. أما بالنسبة للكابلات المدرعة فقط ، ففى أغلب الأحيان (الا اذا كان الدرع مزودا بسلوك نحاسية) يصعب الحصول على مقاومة للدرع صغيرة بما فيه الكفاية بحيث يتمكن تيار العودة من تشغيل أجهزة الوقاية عند المستهلك فى حالة حدوث خطأ للأرض .

5. 7. 3 نظام التاريض الوقائى المتعدد

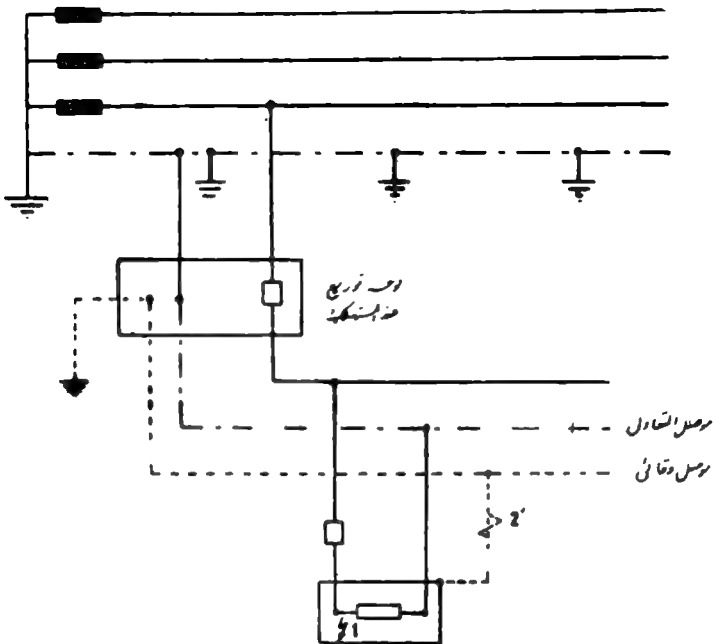
فى هذا النظام يستخدم موصل التعادل لشبكة التوزيع كخط عودة لتيار القصر عند حدوث خطأ للأرض. ولتفادى عيوب النظام المبين فى الشكل 5 - 9 يتم تأريض موصل التعادل عند محول التوزيع ، عند نهاية المغذى وعند نقط متعددة (شكل 5-13) على طول المغذى (حوالى ثلاث نقط فى كل كيلو متر) بحيث لا تزيد مقاومة سلك التعادل للأرض عند أى نقطة عن 10 أوم (أو أى

قيمة أخرى تحددها الهيئة المسئولة عن التوزيع) • ومن الواضح ن حدوث قطع
 فى موصل التعادل الرئيسى (نقطة 2 فى الشكل) لا يشكل خطرا على المستهلك



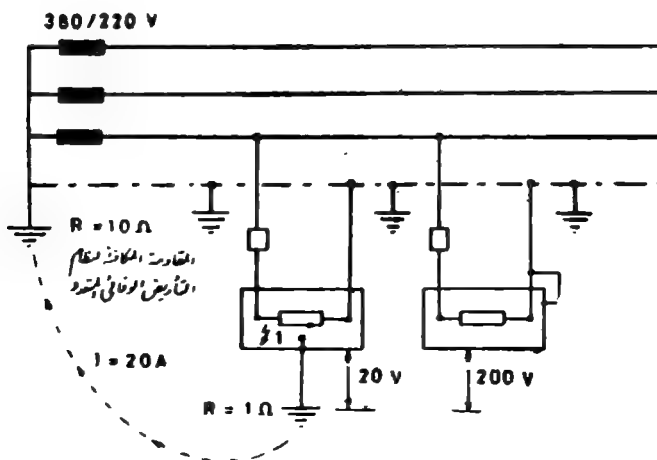
شكل 5 - 13

حتى اذا حدث ، بالاضافة الى هذا القطع ، قصر بين موصل حى والجسم المعدنى
 للجهاز (نقطة 1 فى الشكل) حيث أن فى هذه الحالة تقوم الأرض بمقام موصل



شكل 5 - 14

العودة لتيار القصر • أما فى حالة حدوث قطع فى موصل التعادل الخاص بالمستهلك (نقطة 2' فى الشكل) فيتسبب ذلك فى ارتفاع جهد الجسم المعدنى الى جهد الموصل الحى عند توصيل الحمل • ولتفادى هذا يستحسن استخدام موصل وقائى منفصل كما هو مبين فى الشكل 5-14 وفى هذه الحالة ليست هناك أى خطورة على المستهلك الا فى حالة حدوث خطأ مزدوج : قطع فى الموصل عند 2' وقصر عند 1' .



شكل 5-15

ويجب مراعاة أنه لا يجوز فى أى حال من الاحوال استخدام نظام التأريض المباشر (1.7.5) مع أى من النظامين الآخرين • ويوضح المثال التالى السبب فى ذلك • فلنفرض أن لدينا شبكة تعمل بنظام تأريض وقائى متعدد ثم أضفنا اليها حملا له نظام تأريض مباشر (شكل 5-15) • فعند حدوث قصر بين موصل حى والجسم المعدنى عند النقطة 1 مثلا ، يمر تيار مقداره $220/11 = 20$ أمبير ، ويرتفع جهد موصل التعادل الى $20 \times 10 = 200$ فولت ، ويظهر هذا الجهد على جميع الاجسام المعدنية الموصلة بسلك التعادل •

المراجع

1. G. T. Tagg, Earth Resistances, Newness, London, 1949.
2. V. Manoilov, Fundamentals of Electrical Safety, MIR Publishers, Moscow, 1975.
3. W. F. Cooper, Electrical Safety Engineering, Butterworth, London, 1978.
4. IEEE Std. 80 - 1976, Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
5. National Electrical Safety Code — American National Standards Committee C2.
6. British Standard Code of Practice, CP 1013 b 1965, Earthing.
7. Grounding of Industrial Power Systems, AIEE Publication 953, 1956.
8. Safety in Alternating Current Substation Grounding, AIEE Publication 80, 1961.
9. Practical Grounding, Copperweld Steel Co., Publication No. 143 - 8 - 74. USA

10. Copper for Earthing, Copper Development Association, London.
11. G. G. Seip, Electrical Installations Handbook, Siemens AG, Berlin, 1979.
12. J. H. Watt, American Electricians Handbook, McGraw Hill, New York, 1976.

٨٢/٣١٨٨	رقم الايداع بدار الكتب
٩٧٧ - ١٠٠ - ٠٢٨ - ٤	الترقيم الدولي ISBN

